تسميد محاصيل الخضر

سلسلة تكنولوجيا وفسيولوجيا الخضر

تسميد محاصيل الخضر

تأليف
أ.د. أحمد عبد المنعم حسن
أستاذ الخضر
كلية الزراعة – جامعة القاهرة

يطلب من
كبرى دور النشر والمكتبات بمصر والعالم العربى

الطبعة الأولى ٢٠١٦

دار الكتب المصرية
فهرسة أثناء النشر إعداد إدارة الشئون الفنية
حسن ، أحمد عبد المنعم
تسميد محاصيل الخضر / تأليف أحمد عبد المنعم حسن .
ط١. - القاهرة : **دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع** - ٢٠١٥ م
٦٩٦ ص , ١٧ X ٢٤ - (سلسلة تكنولوجيا وفسيولوجيا الخضر).
تدمك : ١ - ١٣٧ - ٧٣٦ - ٩٧٧ - ٩٧٨
١. المحاصيل الزراعية - أسمدة
٢. الخضروات - زراعة
أ. العنوان
٦٣١,٨١ ٢٠١٥/١٧٤٥٤

الطبعة الأولى
١٤٣٦هـ - ٢٠١٥م

رقم الإيداع : ٢٠١٥/١٧٤٥٤
تدمك : ١ - ١٣٧ - ٧٣٦ - ٩٧٧ - ٩٧٨

توزيع

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة
ت: ٢٧٩٥٤٢٢٩ فاكس: ٢٧٩٢٨٩٨٠
www.sbhegypt.org
E-mail : sbh@link.net

الدار العربية للنشر و التوزيع
٣٢ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة
ت: ٢٢٧٥٣٣٣٥ فاكس: ٢٢٧٥٣٣٨٨
E-mail: aldar_alarabia1@yahoo.com

مكتبة أوزيريس للكتب العلمية
٥٠ ش قصر النيل - ميدان مصطفى كامل - القاهرة
ت: ٢٣٩٦١٩٠٣ فاكس: ٢٣٩١١٤٨٩
E-mail: m.sobhy@osirisbookshop-eg.com

المكتبة الأكاديمية
١٢١ شارع التحرير - الدقى - الجيزة
تليفاكس : ٣٧٤٨٥٢٨٢

وكذلك يطلب من كبرى دور النشر
والمكتبات بمصر والعالم العربى

المقدمة

يُعد تسميد محاصيل الخضر أحد أهم الأمور التى تحظى باهتمام منتجى الخضر، وذلك لِما للتسميد من دور بالغ الأهمية فى إنتاجية محاصيل الخضر وفى التأثير على نوعيتها.

ولعل توصيات برامج تسميد مختلف المحاصيل هى من أكثر المواضيع تباينًا؛ ذلك لأنها لا تتوقف — فقط — على المحصول المنتَج، وإنما — كذلك — على الصنف المستعمل، وعلى أنواع الأسمدة المستخدمة، وطبيعة وكيمياء التربة، وطريقة الزراعة، وطريقة الرى، وطريقة التسميد ذاتها، بالإضافة إلى تأثير مختلف العوامل البيئية من حرارة وشدة إضاءة ومعدل هطول الأمطار، وكذلك الضوابط التى يتطلبها الإنتاج الصحى من المنتج من حيث انخفاض محتواه من المركبات الضارة بصحة الإنسان مثل النتريت والنترات والأوكسالات، والعناصر التى يُفضل ارتفاع محتوى الخضر منها مثل: الكالسيوم والحديد والزنك وغيرها. وهناك بالتأكيد عوامل أخرى يمكن أن تؤثر فى برامج التسميد وسنأتى على بيانها. ولا يمكن أن ننسى الدور الذى تلعبه التفاعلات بين تلك العناصر وبعضها البعض فى التأثير على برامج التسميد الموصى بها.

وتسهيلاً للقارئ على الإلمام بمواضيع الكتاب وتحقيق أكبر استفادة ممكنة منه، فقد عرضنا موضوع التسميد فى اثنى عشر فصلاً، تضمنت ثلاثة فصول تمثل أساسيات الموضوع (هى الفصول الثلاثة الأولى)، وتسعة فصول تغطى احتياجات التسميد فى مجموعات من محاصيل الخضر.

اشتملت فصول الأساسيات الثلاثة الأولى على بيان بالعناصر الغذائية وتأثير كل منها على محاصيل الخضر بصورة عامة (الفصل الأول)، ومختلف أنواع الأسمدة (الفصل الثانى)، والطرق المستخدمة فى التسميد (الفصل الثالث).

أما فصول احتياجات التسميد لمختلف المحاصيل، فقد تضمنت شرحًا للدور الذى تلعبه العناصر الغذائية فى إنتاجية وجودة تلك المحاصيل وبرامج التسميد التى يوصى بها فى مختلف ظروف الإنتاج، وذلك بالنسبة لكل من الباذنجانيات الثمرية (الطماطم والفلفل والباذنجان — الفصل الرابع)، والقرعيات (البطيخ والكنتالوب والخيار والكوسة والقرع العسلى وقرع الشتاء — الفصل الخامس)، والخضر الثمرية الأخرى (الفراولة والبامية — الفصل السادس)، والخضر الجذرية والدرنية (البطاطس والبطاطا والقلقاس والجزر واللفت والبنجر — الفصل السابع)، والخضر البصلية (البصل والثوم — الفصل الثامن)، والخضر الورقية (الخس والسبانخ والكرفس — الفصل التاسع)، والخضر الكرنبية (الكرنب والقنبيط — الفصل العاشر)، والخضر الزهرية والساقية (الخرشوف والبروكولى والأسبرجس— الفصل الحادى عشر)، والخضر البقولية (البسلة والفاصوليا واللوبيا والفول الرومى والفاصوليا المدادة — الفصل الثانى عشر).

أرجو من الله أن أكون قد وُفِّقتُ إلى عرض الموضوع بطريقة يمكن أن يستفيد منها منتج الخضر فى شتّى ظروف الإنتاج، وأن توفر له ما يلزمه من معلومات أساسية تمكنه من إجراء ما قد يراه مناسبًا من تعديلات فى برامج التسميد المقترحة لتكون أكثر مناسبة لظروفه الخاصة.

كما أرجو أن يلقى الكتاب ترحيبًا من دارسى الخضر على مستوى كل من مرحلتى البكالوريوس والدراسات العليا، وأن يكون عونًا لباحثى الخضر فى مجال التسميد.

أ.د. أحمد عبد المنعم حسن

أستاذ الخضر

كلية الزراعة – جامعة القاهرة

محتويات الكتاب

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الفصل الحادى عشر

الفصل الثانى عشر

الفصل الأول

العناصر الغذائية وتأثيرها على نباتات الخضر

نتناول فى هذا الفصل دراسة تأثير العناصر الغذائية، مع الاهتمام بكيفية تأثير هذه العناصر على محاصيل الخضر، وشرح موجز للعناصر ذاتها وتغيراتها فى التربة.

العناصر الغذائية الضرورية للنبات

العناصر الغذائية الضرورية هى: الكربون، والأيدروجين، والأكسجين، والنيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريت، والحديد، والزنك، والمنجنيز، والنحاس، والبورون، والموليبدنم ، والكلور.

ويحصل النبات على الكربون والأيدروجين والأكسجين من الماء وغاز ثانى أكسيد الكربون. وتشكل هذه العناصر الثلاثة مجتمعة أكثر من ٩٢٪ من البرتوبلازم الحى.

ويُمتص النيتروجين أكثر من أى من العناصر الأخرى؛ حيث يُشكل ١٪ - ٢٪ من البرتوبلازم الحى. أما الفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والكبريت، فتمتص بكميات أقل بكثير من النيتروجين، ويمتص النبات باقى العناصر بكميات قليلة جدًّا.

وبالإضافة إلى العناصر الضرورية، فإن النبات يمتص أكثر من ٤٠ عنصرًا آخر يكون لها تأثير مفيد، رغم أنها ليست من العناصر الضرورية. فمثلا يؤدى امتصاص الكرفس للصوديوم إلى تحسن فى الطعم.

ويعتبر العنصر ضروريًا إذا توفرت فيه الشروط التالية:

١- يؤدى غياب العنصر من بيئة نمو النبات إلى حدوث نمو غير طبيعى، ويفشل النبات فى إكمال دورة حياته، ويموت مبكرًا.

٢- يجب ألا يقوم عنصر آخر بعمله فى غيابه.

٣- يجب أن يحدث تأثيره بصورة مباشرة على نمو وأيض النبات، وليس عن طريق تأثير غير مباشر كإحداث تأثير مضاد لعنصر آخر مثلاً (Jones ١٩٨٢).

امتصاص النبات للعناصر المغذية

كيفية وصول العناصر المغذية إلى الجذور

يمكن أن تصل العناصر المغذية إلى سطح الجذر بواحدة من ثلاث طرق، كما يلي:

١- نمو الجذور إليها واعتراضها لها Root Interception

تعد هذه الوسيلة لوصول العناصر المغذية إلى سطح الجذور أقلها أهمية؛ نظرًا لأن كمية العناصر الميسرة التي تلامسها الجذور أثناء نموها تكون ضئيلة للغاية.

٢- التدفق الإجمالي Mass Flow

تلك هي عملية انتقال العناصر المغذية إلى سطح الجذر، والتي تحدث عند تحرك المحلول الأرضي ليحل محل الجزء المستنفد الذي امتصته الجذور. وتتوقف كمية العناصر المغذية التي تُزوَّد بها الجذور بهذه الوسيلة على تركيز العناصر في المحلول الأرضي، وسرعة امتصاص الجذور للماء. وتتوقف قدرة التربة على توفير العناصر بالتركيز المناسب عند سطح الجذور على كمية العناصر المُيسرة في التربة، ومدى استنفاذ المحصول لها.

٣- الانتشار Diffusion

يقصد بذلك انتشار العناصر من أجزاء التربة التي يزيد فيها التركيز إلى تلك التي يكون التركيز فيها منخفضًا. ولا يحدث الانتشار إلا عندما يكون محتوى التربة الرطوبي كافيًا لاستمرار وجود غشاء مائي بين الجذور وجزيئات التربة.

وتتحرك جميع العناصر المغذية بالانتشار في ظروف النتح القليل. ولكن عندما يزداد امتصاص النبات للماء فإن حصول النبات على كل من الكالسيوم والنترات يكون — أساسًا — بطريقة التدفق الإجمالي. وإذا كان امتصاص العناصر أكثر من سرعة حصول الجذور عليها فإنه قد يُستنفذ الفوسفور والبوتاسيوم من التربة بالقرب من سطح الجذور. ويعد استنفاد

الفوسفور مشكلة هامة؛ وذلك بسبب خاصية عدم تحركه فى التربة؛ ولذا .. فإن حصول النبات على الفوسفور يعتمد — إلى حد كبير — على نمو الجذور إلى حيث يتوفر العنصر.

وبمجرد فقد التربة لجانب كبير من رطوبتها تَضْعُف خاصيتا التدفق الإجمالى والانتشار، ويقل وصول العناصر إلى الجذور تبعًا لذلك. يحدث ذلك بسبب نقص مساحات تلامس الجذور مع الرطوبة الحرة بالتربة فى ظروف الجفاف؛ وهو أمر يسبق بداية معاناة النباتات من نقص الرطوبة الأرضية (عن Archer ١٩٨٥).

العوامل المؤثرة على تيسر العناصر وامتصاص النباتات لها

يمكن إجمال العوامل المؤثرة على تيسر العناصر المغذية وامتصاص النباتات لها فيما يلى:

١– زيادة قلوية التربة؛ الأمر الذى يؤدى إلى ترسيب العناصر الصغرى فى صور غير ذائبة، وزيادة احتمالات فقد الأمونيا بالتطاير.

٢– ارتفاع مستوى الكالسيوم الذائب فى المحلول الأرضى؛ الأمر الذى يؤدى إلى ترسيب الفوسفور فى صورة غير ذائبة.

٣– ارتفاع محتوى التربة من كربونات الكالسيوم؛ الأمر الذى يؤدى إلى ترسيب الفوسفور فى صور غير ذائبة، وتكوين القشرة السطحية التى تعوق إنبات البذور.

٤– ارتفاع تركيز الأملاح؛ الأمر الذى يقلل من امتصاص العناصر بسبب ارتفاع الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى.

٥– انخفاض نسبة الرطوبة فى التربة إلى أقل من ٢٥٪ – ٤٠٪ من المحتوى الرطوبى عند السعة الحقلية؛ الأمر الذى يؤدى إلى ضعف حركة العناصر فى التربة بالانتشار؛ فيقل وصولها إلى سطح الجذور تبعًا لذلك.

٦– استمرار زيادة الرطوبة لفترة طويلة، وسوء التهوية؛ الأمر الذى يؤدى إلى اختزال النترات إلى نيتروجين غازى يفقد فى الجو.

٧- انخفاض درجة الحرارة؛ الأمر الذى يبطئ كل الأنشطة الحيوية فى النبات، وما يترتب على ذلك من ضعف امتصاص العناصر.

٨- التضاد بين العناصر؛ حيث تؤدى زيادة تركيز عنصر ما إلى خفض امتصاص عنصر، أو عدة عناصر أخرى (عن حبيب وآخرين ١٩٩٣).

كيفية امتصاص النبات للعناصر

تمتص النباتات العناصر المغذية من التربة بإحدى وسيلتين، كما يلى:

١- امتصاص سلبى Passive Nutrient Uptake

يتم الامتصاص السلبى حسب خاصية الضغط الأسموزى، ولا يتطلب بذل الطاقة من جانب النبات، حيث تُمتص العناصر المغذية مباشرة من المحلول الأرضى، أو بالتبادل الكاتيونى بين جدر خلايا الشعيرات الجذرية وغرويات التربة.

٢- امتصاص نشط Active Nutrient Uptake

يكون الامتصاص النشط ضد الضغط الأسموزى، ويتطلب طاقة تأتى من تنفس الجذور؛ فبعد أن تصل الأيونات إلى سطح خلايا الجذور — وهى عملية لا تتطلب طاقة — فإنها تتحد مع جزيئات حاملة لها carrier molecules، وتنتقل خلال الأغشية الخلوية إلى داخل الخلايا؛ حيث ينفصل الأيون عن حامله؛ ليصل الأيون إلى الفجوة العصارية. ويلزم لانتقال حامل الأيون طاقة يحصل عليها من التنفس.

وكل حامل carrier يتخصص فى نقل أيونات معينة. ويسمح هذا التخصص بزيادة تركيز أيونات معينة دون غيرها، فضلاً على أن النظام يسمح بزيادة تركيز جميع الأيونات — بصورة عامة — فى خلايا الجذور عنها فى المحلول الأرضى (عن Millar وآخرين ١٩٦٩).

الصور التى تمتص عليها العناصر ومحتوى التربة والنبات منها

يمتص النبات العناصر المغذية فى صورة أيونات. ويوضح جدول (١ — ١) مختلف

الصور الأيونية التى تمتص عليها هذه العناصر، والتركيز الذى توجد عليه — عادة — فى كل من التربة والنبات (عن Fuller وآخرين ١٩٧٢، و Hale & Orcutt ١٩٨٧).

جدول (١-١): الصور التى تُمتص عليها العناصر وتركيزها فى كل من التربة والنبات.

العنصر	الصور التى يُمتص عليها	تركيز العنصر (على أساس الوزن الجاف)	
		فى التربة	فى النبات
النيتروجين	NH_4^+ و No_3^-	–	٣,٠٪
الفوسفور	HPO_4^{2-} و $H_2PO_4^-$	٠,٠٥٪	٠,٢٪
البوتاسيوم	K^+	٠,١٧٪	١,٠٪
الكالسيوم	Ca^{2+}	٠,٤٣٪	٠,٥٪
المغنيسيوم	Mg^{2+}	٠,٠٣٪	٠,٢٪
الكبريت	SO_4^{2-}	٠,٠٤٪	١,٠٪
الحديد	Fe^{2+} و Fe^{3+}	٢٥٠٠٠٠ جزء فى المليون	١٠٠ جزء فى المليون
المنجنيز	Mn^{2+}	٢٥٠٠ جزء فى المليون	٥٠ جزءًا فى المليون
النحاس	Cu^+، Cu^{2+}	٥٠ جزءًا فى المليون	٦ أجزاء فى المليون
الزنك	Zn^{2+}	١٠٠ جزء فى المليون	٢٠ جزءًا فى المليون
البورون	BO_3^{3-} و $HB_4O_7^-$	١٠٠ جزء فى المليون	٢٠ جزءًا فى المليون
الموليبدنم	MoO_4^-	جزآن فى المليون	٠,١ جزءًا فى المليون
النيكل	Ni^{2+}	–	٠,٠٦ جزءًا فى المليون
الكلورين	Cl^-	–	١٠٠ جزء فى المليون

كما يعطى جدول (١ - ٢) بيانًا بمحتوى الأراضى الرملية والجيرية الحديثة الاستزراع — فى مصر — من العناصر الأولية، وأربعة من العناصر الدقيقة، مقارنة بمحتوى أراضى الوادى والدلتا (عن عبد الحميد ١٩٩١).

جدول (١–٢): محتوى الأراضى الرملية والجيرية الحديثة الاستزراع – فى مصر – من العناصر الأولية وأربعة من العناصر الدقيقة، مقارنة بمحتوى أراضى الوادى والدلتا (عن عبد الحميد ١٩٩١).

العنصر	أراض حديثة الاستزراع (صفر – ٦٠ سم)		أراضى الوادى والدلتا (صفر – ٦٠ سم)
	رملية	جيرية	
عناصر أولية (مجم/١٠٠ جم)			
النيتروجين	١٢ – ٤٥	١٨ – ٤٧	٧٥ – ١٧٠
الفوسفور	٠,٤ – ١,٢	٠,٣ – ٠,٥	٢,١ – ٤
البوتاسيوم	٥ – ١٠	١٧ – ٢٢	٣٨ – ٦٨
عناصر دقيقة (جزء فى المليون)			
حديد	٠,٥ – ٤,٥	١,٥ – ٦	٩,٥ – ٣٠
منجنيز	٢ – ٢,٥	٥ – ١٢	١٠ – ٤٠
زنك	٠,٥ – ٠,٧	٠,٨ – ١	١,٢ – ٢,٤
نحاس	٠,٤ – ١,٩	٠,٨ – ٠,٩	٢,٧ – ٤,٦

وإلى جانب العناصر الكبرى والصغرى الضرورية للنبات والتى سبق بيانها فى جدول (١–١) .. توجد مجموعة أخرى من العناصر تعرف بوجودها فى النباتات الراقية، ولوحظ استجابة النباتات لبعضها، لكن لم تثبت ضرورتها، وعُرفت ضرورة بعضها للثدييات، وجميعها تتوفر فى المحلول الأرضى، وهى المبينة فى جدول (١–٣).

جدول (١-٣): عناصر تتوفر فى المحلول الأرضى ويوجد بعضها فى النباتات، ولكن لم تثبت ضرورتها (عن Hanan ١٩٩٨).

العنصر		الرمز الكيميائى	الصور الذائبة التى تتوفر للنباتات	الوزن الذرى
الألومنيوم	Aluminum	Al	Al^{3+}	٢٧
الأنتيمون	Antimony	Sb	$Sb(OH)_6^-$	١٢٢
الباريم	Barium	Ba	Ba^{2+}	١٣٧
البروم	Bromine	Br	Br^-	٨٠
الكادميم	Cadmium	Cd	Cd^{2+}	١١٢
الكروم	Chromium	Cr	$Cr^{2+}, Cr(OH)_2^+, CrO_4^{2-}$	٥٢
الكوبالت	Cobalt	Co	Co^{2+}, Co^{3+}	٥٩
الفلور	Fluorine	F	F^-	١٩
اليود	Iodine	I	I^-	١٢٧
الرصاص	Lead	Pb	Pb^{2+}	٢٠٧
اللثيم	Lithium	Li	Li^+	٧
الزئبق	Mercury	Hg	Hg_2^{2+}	٢٠١
الروبديم	Rubidium	Rb	Rb^+	٨٥
السيلينيم	Selenium	Se	$HSe^-, HSeO_3^-, SeO_4^{2-}$	٧٩
السيليكون أ	Silicon	Si	$H_3SiO_4^-, H_2SiO_4^{2-}, HSiO_4^{3-}, SiO_4^{4-}, H_4SiO_4^o$	٢٨
الفضة	Silver	Ag	Ag^+	١٠٨
الصوديوم	Sodium	Na	Na^+	٢٣
الاسترونشيم	Strontium	Sr	Sr^{2+}	٨٨
الثاليم	Thallium	Tl	Tl^+	٢٠٤
اليورانيم	Uranium	U	$U^{3+}, U^{4+}, UO_2^+, UO_2^{2+}$	٢٣٨
الفاناديم	Vanadium	V	$V^{2+}, V^{3+}, VO^{2+}, VO_2^+$	٥١

أ- تتوفر صورة السيليكون $H_4SiO_4^o$ كجزيئات عديمة الشحنة غير مفككة undissociated.

ويمكن تقسيم العناصر الضرورية للنبات على أساس الصور التى يستعملها النبات ووظائفها البيولوجية فيه إلى أربع مجموعات، كما يلى:

١- عناصر الكربون والأيدروجين والأكسجين والنيتروجين والكبريت:

تتوفر هذه العناصر على الصور: CO_2، وHCO_3^-، و H_2O، وO_2، وNH_4^+، و N_2، وSO_4^{2-}، وSO_2. تتوفر الأيونات فى المحلول الأرضى والغازات فى الهواء.

تُعد تلك العناصر المكونات الرئيسية للمادة العضوية، كما تُعد عناصر ضرورية للمجموعات الكيميائية التى تلعب دورًا فى عمل الإنزيمات، ويتم تمثيلها فى تفاعلات الأكسدة والاختزال.

٢- عنصرا الفوسفور والبورون:

يتوفرا على الصور: الفوسفات وحامض البوريك والبوريت فى المحلول الأرضى.

يتواجدا فى النبات كإسترات للمجاميع الكحولية. وتدخل إسترات الفوسفات فى تفاعلات نقل الطاقة.

٣- عناصر البوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم والمنجنيز والكلورين:

تتوفر هذه العناصر على صورة أيونات بالمحلول الأرضى.

تدخل تلك العناصر فى وظائف غير متخصصة لأجل توفير الضغط الأسموزى، كما تدخل فى تفاعلات أكثر تخصصًا لأجل تنشيط الإنزيمات وإحداث التوازن بين الأيونات غير القادرة على الانتشار وتلك القادرة.

٤- عناصر الحديد والنحاس والزنك والموليبدنم:

تتوفر على صورة أيونات أو فى صور مخلبية تدخل ضمن المجاميع الإنزيمية

المساعدة prothetic groups، وتفيد في انتقال الأيونات عن طريق التغيرات في التكافؤ (Jones ١٩٩٧).

كما يمكن تقسيم العناصر حسب ضرورتها لكل من النبات والحيوان كما يلى:

١- عناصر ضرورية لكل من النبات والحيوان:

عناصر كبرى: الكالسيوم — الكربون — الأيدروجين — المغنيسيوم — النيتروجين — الأكسجين — الفوسفور — البوتاسيوم — الكبريت.

عناصر صغرى: الكلورين — النحاس — الحديد — المنجنيز — الموليبدنم — الزنك.

٢- عناصر ضرورية للنبات فقط:

عناصر كبرى: الصوديوم.

عناصر صغرى: البورون.

٣- عناصر ضرورية للحيوان فقط:

عناصر صغرى: الزرنيخ — الكروم — الكوبالت — الفلور — اليود — النيكل — السيلينيم — الفاناديم (Jones ١٩٩٧).

انتقال العناصر المغذية داخل النبات

يكون انتقال العناصر المغذية في النبات في ثلاثة اتجاهات، كما يلى:

١- من أسفل إلى أعلى عن طريق الخشب، وبدرجة أقل عن طريق اللحاء.

٢- من أعلى إلى أسفل عن طريق اللحاء.

٣- جانبيًّا بين الخشب واللحاء.

وتنتقل بعض العناصر المغذية من الأوراق قبل موتها وسقوطها؛ ومن أمثلتها:

النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكبريت، والكلور. كذلك ينتقل الحديد والمغنيسيوم فى بعض الظروف.

وفى حالة الفوسفور .. يكون انتقال العنصر من الأوراق السفلى إلى كل من الجذور والأوراق العليا.

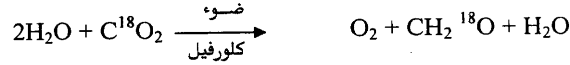
لكن يبدو أن العناصر لا تنتقل أبدًا من الأوراق الحديثة التكوين النشطة فسيولوجيًّا إلى الأوراق الأكبر سنًا. وتظهر أعراض نقص العناصر على الأوراق الكبيرة السن — غالبًا — بسبب قدرة الأوراق الحديثة على سحب احتياجاتها من العناصر من الأوراق الكبيرة عند نقص تلك العناصر فى التربة. ولا تنطبق هذه القاعدة على العناصر غير المتحركة فى النبات (عن Devlin ١٩٧٥).

الكربون والأيدروجين والأكسجين

تشكل عناصر الكربون والأيدروجين والأكسجين الهيكل الأساسى للمادة العضوية، ويحصل عليها النبات من ماء الرى، ومن غاز ثانى أكسيد الكربون من الجو.

الكربون

يعتبر ثانى أكسيد الكربون الجوى هو المصدر الوحيد لكل من الكربون والأكسجين للنباتات حسب معادلة البناء الضوئى المبسطة التى يستخدم فيها نظير الأكسجين ($^{18}O_2$) فى غاز CO_2، بدلاً من الأكسجين العادى. وهذه المعادلة هى:



$$2H_2O + C^{18}O_2 \xrightarrow[\text{كلورفيل}]{\text{ضوء}} O_2 + CH_2\,^{18}O + H_2O$$

تبلغ نسبة CO_2 بالجو ٠٫٠٣ — ٠٫٠٤٪. وبرغم هذه النسبة المنخفضة، فإن كمية CO_2 الموجودة بالغلاف الجوى تقدر بنحو ٦٠٠ بليون طن، تستعمل منها النباتات نحو ٧٠ بليون طن سنويًا. وبرغم الكمية الكبيرة التى تستهلكها النباتات، فإن نسبة CO_2

الجوى تظل ثابتة لانطلاق الغاز بصورة دائمة، نتيجة تنفس الكائنات الحية، نباتية كانت أم حيوانية، وكذلك نتيجة احتراق المواد العضوية. وتعتبر الكائنات الدقيقة التى تعيش فى التربة هى المنتج الأساسى لغاز CO_2.

هذا .. وتستفيد النباتات من زيادة نسبة CO_2 صناعيًّا فى جو الصوبات (البيوت الزجاجية والبلاستيكية) إلى أن يصبح عاملاً آخر محددًا للنمو؛ مثل شدة الإضاءة، أو درجة الحرارة.

الأيدروجين

يحصل النبات على حاجته من الأيدروجين من ماء الرى. أما الأكسجين الموجود فى الماء، فإنه ينطلق إلى الجو أثناء عملية البناء الضوئى.

الأكسجين

كما سبق الذكر .. فإن النبات يحصل على حاجته من الكربون والأكسجين من غاز ثانى أكسيد الكربون. وقد أوضحت الدراسات التى استخدم فيها الماء المحتوى على النظير $^{18}CO_2$ – وهو ليس بنظير مشع – أن كل الأكسجين المنتج أثناء عملية البناء الضوئى يأتى من الماء، وأن الأكسجين الذى يدخل فى بناء المواد العضوية يحصل عليه النبات من غاز CO_2 الجوى.

هذا .. وتحصل الجذور على حاجتها من الأكسجين اللازم للتنفس عن طريق العديسات lenticels التى توجد فيها.

النيتروجين

أهمية النيتروجين للنبات

يدخل النيتروجين فى تركيب البروتين الذى يعتبر المركب الأساسى فى البروتوبلازم، كما يدخل فى تركيب الإنزيمات، وكلوروفيل أ، ب، وبعض الأحماض فى النواة، وبعض الهرمونات. ومن أهم المركبات التى يدخل النيتروجين فى تركيبها:

البيورين purines، والبريمدين Pyrimidines، وهما من المركبات الأساسية في الأحماض النووية DNA و RNA، كما يدخل في تركيب البورفرين Porphyrin الذى يوجد في الكلوروفيل، وفى إنزيمات السيتوكروم، وهما ضروريان للبناء الضوئى والتنفس على التوالى. كما يدخل النيتروجين أيضًا في تركيب مرافقات الإنزيمات الضرورية لعديد من الإنزيمات.

ويعمل النيتروجين الوفير على تشجيع النمو النشط، وهى صفة مرغوبة في الخضر الورقية.

أعراض نقص النيتروجين

تختلف أعراض نقص النيتروجين في نباتات الفلقة الواحدة عنها في نباتات الفلقتين؛ حيث يتميز نقص النيتروجين في ذوات الفلقة الواحدة باصفرار وسط نصل الورقة، مع بقاء الحواف خضراء، أما في النباتات ذات الفلقتين، فإن الورقة تصبح متجانسة بلون أخضر مصفر. وتظهر الأعراض في كليهما على الأوراق السفلى أولاً، فتصبح الأوراق خضراء باهتة، ثم يتحول لونها إلى الأصفر.

ويكون نمو النبات — الذى يعانى نقص النيتروجين — بطيئًا ومتقزمًا، كما يكون حجم الأعضاء النباتية الأخرى أقل من الحجم الطبيعى؛ ويصبح النبات متخشبًا (Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

ولا تظهر أعراض نقص النيتروجين على الأوراق الحديثة إلا بعد فترة من ظهور أعراض نقص العنصر على الورقة المسنة؛ لأن النيتروجين على درجة عالية من القدرة على الحركة بالنبات. فالأوراق الصغيرة تحتفظ بالنيتروجين الذى يصل إليها، بالإضافة إلى أن جزءًا من النيتروجين ينتقل إليها من الأوراق المسنة. وفى حالات النقص الشديد تجف الأوراق السفلى وتسقط، وتأخذ الأوراق العليا لونًا أصفر شاحبًا.

وقد يصاحب نقص النيتروجين فى بعض النباتات إنتاج النبات لصبغات أخرى غير الكلوروفيل، ففى الطماطم مثلاً يصاحب نقص النيتروجين ظهور لون بنفسجى فى أعناق الأوراق وبالعروق؛ نتيجة تكون صبغة الأنثوسيانين. ويظهر هذا اللون أحيانًا كذلك على سيقان بعض النباتات عند نقص النيتروجين (Devlin ١٩٧٥).

ويكون ظهور أعراض نقص النيتروجين مؤكدًا إذا انخفض محتوى الأوراق الكلى من الآزوت عن ١,٥٪ على أساس الوزن الجاف.

أما التركيز الطبيعى للنيتروجين فيتراوح بين ٢٪ - ٣٪ حتى ٤٪ - ٥٪ على أساس الوزن الجاف، حسب النوع النباتى، ويكون التركيز العالى — فى النوع النباتى الواحد — خلال المراحل المبكرة من النمو، ثم ينخفض التركيز بشدة.

أعراض زيادة النيتروجين

عند زيادة النيتروجين عن الحد المناسب، يصبح لون الأوراق أخضر داكنًا، ويزداد محتواها من الكلوروفيل، وتتبع ذلك زيادة فى معدل البناء الضوئى، لكن نتيجة لتوفر الآزوت، فإن الغذاء المجهز يستعمل فى بناء أنسجة جديدة، ومن ثم يكون النمو سريعًا فى الجذور والسيقان والأوراق، ويقل تخزين الغذاء وتكوين الألياف التى تدعم النبات، كذلك يقل الإزهار والإثمار؛ ومن ثم تكون السيقان رهيفة، وجدرها رقيقة، والمحصول قليلاً، سواء أكان ذلك محصول ثمار أم محصول بذور أم فى صورة أعضاء التخزين الخضرية.

ويصاحب زيادة النيتروجين تأخير النضج، نتيجة تشجيعه للنمو الزائد، ونقص صفات الجودة. كما قد تشجع زيادة النيتروجين عن الحد المناسب على زيادة الإصابة بالأمراض (Bukman & Brady ١٩٦٠).

وفى حالة زيادة الأسمدة النشادرية — وهى الأسمدة التى يوجد فيها النيتروجين فى صورة أمونيا (NH_4^+) — فإنه قد تظهر أعراض التسمم النباتى بالأمونيا. وتختلف الأنواع النباتية فى درجة تحملها لزيادة تركيز أيون الأمونيوم. وفى معظم النباتات

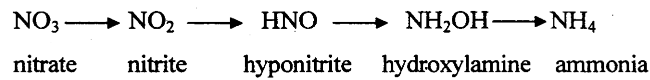
يؤدى التعرض للتركيزات العالية من الأمونيوم إلى حدوث اصفرار بالأوراق، وتَوَقُّف بالنمو، وظهور بقع متحللة فى الأوراق، وتحلل وتلون بالحزم الوعائية، كما لم تنبت بذور الخيار فى التركيزات العالية من الأمونيوم. ومن النباتات الحساسة الأخرى: الفاصوليا، والذرة السكرية، والبسلة.

هذا .. وتوجد الأمونيا الحرة طبيعيًا فى الخلايا النباتية تحت الظروف العادية، ولكن مع زيادة كمية السماد الأمونيومى يتأثر أيض النبات؛ حيث يستنفذ النبات مخزون المواد الكربوهيدراتية ليحول أيونات الأمونيا الحرة إلى صور غير سامة على حساب التحولات الأخرى (Mills & Jones ١٩٧٩).

الصور التى يُمتص عليها النيتروجين

تمتص النباتات النيتروجين فى صورتيه: النتراتية والأمونيومية، ويتوقف ذلك على درجة حموضة التربة؛ ففى الأراضى الحامضية يكون الامتصاص فى الصورة النتراتية أساسًا. وفى الأراضى المتعادلة والقلوية يكون الامتصاص فى الصورة الأمونيومية أساسًا. ويتساوى الامتصاص بين الصورتين فى pH أقل قليلاً من ٧.

وبرغم أن معظم النباتات تمتص النيتروجين فى صورة نترات، إلا أن النيتروجين الممتص على هذه الصورة لا يستعمل مباشرة، بل لابد من اختزاله داخل النباتات إلى أمونيا قبل أن يدخل فى تركيب أى مركب عضوى. ويتطلب ذلك طاقة يتحصل عليها النبات من التنفس. ومن المعتقد أن التحول يتم على النحو التالى:



$$NO_3 \longrightarrow NO_2 \longrightarrow HNO \longrightarrow NH_2OH \longrightarrow NH_4$$

nitrate nitrite hyponitrite hydroxylamine ammonia

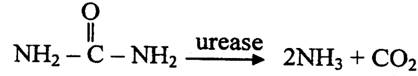
وعليه .. فإن استفادة النبات من الأمونيوم الممتص تكون أسرع من استفادته من النترات لضرورة تحول النترات إلى أمونيا قبل ان تدخل فى بناء المواد البروتينية.

هذا .. وتؤدى زيادة التسميد النتراتى إلى تراكم النترات بالنبات، بينما تؤدى زيادة التسميد الأمونيومى إلى ظهور أعراض التسمم بهذا الكاتيون بعد زيادته عن الحد المناسب.

كما يمكن لعدد كبير من النباتات استخدام النيتروجين العضوى كمصدر للنيتروجين. وأهم المركبات العضوية النيتروجينية التى يمتصها النبات هى: الأحماض الأمينية، والأميدات، واليوريا.

ويوجد معظم النيتروجين فى التربة مثبتًا فى صورة بروتين. ويؤدى تحلل البروتين إلى انطلاق الأحماض الأمينية. وهذه قد تؤكسد وتعطى نيتروجينًا فى صورة أمونيوم، ثم تتأكسد هى الأخرى إلى نترات قبل أن يمتصها النبات، أو قد تقوم النباتات بامتصاص الأحماض الأمينية مباشرة، وتتعرض فى ذلك لمنافسة شديدة من جانب الكائنات الدقيقة التى تعيش فى التربة.

كما أن مد النبات باليوريا $NH_2 - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - NH_2$ عن طريق رش الأوراق يعتبر طريقة فعالة لمعالجة نقص النيتروجين. وعند دخول اليوريا إلى النبات فإنها تتحلل مائيًا بفعل الإنزيم يوريز إلى أمونيا وثانى أكسيد الكربون كما يلى:



$$NH_2 - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - NH_2 \xrightarrow{urease} 2NH_3 + CO_2$$

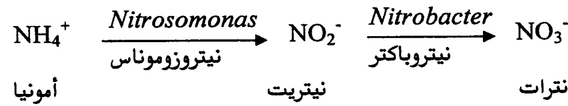
ويعتقد البعض أن هذا التفاعل مشكوك فيه، وأن النبات يستعمل اليوريا مباشرة (Devlin ١٩٧٥).

تيسر النيتروجين من المادة العضوية

تحلل المادة العضوية فى التربة

لكى تستفيد النباتات من النيتروجين الموجود فى المادة العضوية، فإنه يجب أن يتحول أولاً إلى إحدى صورتيه النتراتية أو الأمونيومية، ويتم ذلك بفعل مجموعتين من الكائنات الدقيقة.

تتضمن المجموعة الأولى بعض الفطريات والبكتريا، وتسمى ammonifiers؛ لأنها تحدث ammonification للمادة العضوية؛ حيث يتحول النيتروجين العضوى إلى أحماض أمينية، ثم إلى أمونيا NH_4^+ وينطلق الأكسجين. وتتضمن المجموعة الثانية بعض أنواع البكتيريا فقط، وتسمى nitrifies، وتقوم بعملية النترتة nitrification؛ حيث تتحول الأمونيا إلى نيتريت NO_2^-، وينطلق الأكسجين، ثم إلى NO_3^-، وتتم هذه العمليات كما يلى:



$$NH_4^+ \xrightarrow[\text{نيتروزوموناس}]{\textit{Nitrosomonas}} NO_2^- \xrightarrow[\text{نيتروباكتر}]{\textit{Nitrobacter}} NO_3^-$$

أمونيا — نيتريت — نترات

وتحصل البكتيريا على الطاقة اللازمة لها من أكسدة الأمونيا أو النيتريت، ولا تعتمد على كائنات أخرى لإمدادها بالطاقة؛ أى إنها تعد من الكائنات الـ autotrophic.

وتوجد أعداد هائلة من هذه البكتيريا فى التربة؛ حيث يُقدر العلماء عددها بنحو ٤٦ بليون خلية بكتيرية فى كل جرام من المادة العضوية أثناء تحللها. أما تحت الظروف العادية، فإن التربة الخصبة تحتوى على حوالى ١/٢ — ١ طن من هذه البكتيريا/فدان، أو حوالى ٢٢٠ — ٢٥٠ بليون خلية بكتيرية لكل كيلوجرام من التربة. ويقدر العلماء أن كمية النيتروجين الميسر (النتراتى والأمونيومى) التى توفرها هذه البكتيريا تبلغ ٢٢,٥ — ١٣٥ كجم/فدان سنويًا (Edmond وآخرون ١٩٧٥).

مثبطات النترتة

يمكن إبطاء عملية النترتة nitrification بخلط السماد الأمونيومى — وكذلك اليوريا — بمركبات مثبطة للنترتة nitrification inhibitors. ويعد النترابيرن nitrapyrin (كما يتوفر فى المركب التجارى N-serve) من أكثرها فاعلية، وتركيبه 2-chloro-6-(Trichloromethyl) pyridine، ويستخدم هذا المركب بتركيز ١٪

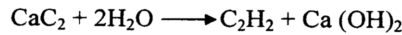
من النيتروجين المسمد به، أو ١٠ أجزاء في المليون من التربة، ويزداد التركيز الفعال مع زيادة قلوية التربة، أو نسبة المادة العضوية فيها. لكن عملية تثبيط النترتة لا تتعدى ٢٥٪. ويتحلل النترابيرن في التربة معطيًا 6-chloropicolinic acid وكلاهما قليل السمية للثدييات، ولكن ناتج التحلل أقل عدة مرات في سميته من النترابيرن نفسه.

ويعتبر النترابيرن شديد الفاعلية ضد البكتيريا *Nitrosomonas* التي تعمل على أكسدة الأمونيا إلى نيتريت؛ حيث يثبط نشاطها بشدة عند استخدامه بتركيز ١٪ — ٢٪ من النيتروجين المضاف، بينما لا يؤثر النترابيرن على البكتيريا *Nitrobacter* والبكتيريا الأخرى والفطريات، حتى لو وصل تركيزه إلى ١٠٪ من السماد المضاف.

وتختلف الأنواع النباتية في حساسيتها للنترابيرن. وتعتبر البقوليات أكثرها حساسية. ولم تتأثر الفاصوليا والذرة السكرية، والخيار، والبسلة، والقرع العسلي بالنترابيرن عندما أضيف إلى التربة بالتركيز الموصى به (Mills & Jones ١٩٧٩).

ومن مثبطات النترتة الأخرى المستعملة: ATC (وهو -4-amino-1,2,4 triazole)،

و DCD (وهو dicyandiamide)، و C_2H_2 (الأسيتلين)، وال CS_2 (وهو carbon disulphide). يُوجد المركبان الأخيران في صورة غازية؛ وتوجد مشكلة في الإبقاء على تركيزهما عالٍ في حدود ١٪ (على أساس الحجم) من هواء التربة في موقع حبيبات السماد المضاف. وقد عُولجت هذه المشكلة باستعمال CaC_2 محبب ومغلف؛ حيث يتحلل ببطء في التربة لينطلق منه غاز الأسيتلين حسب التفاعل



$$CaC_2 + 2H_2O \longrightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$$

(White ١٩٩٧).

هـذا .. ويوضـح Maynard & Lorenz (١٩٧٩) بعـض جوانـب عمليـة تثبـيط النترتة بشئ من التفصيل.

تثبيت آزوت الهواء الجوى فى التربة بواسطة الكائنات التى تعيش معيشة حرة

يشكل النيتروجين نحـو ٧٩٪ مـن الغـازات التـى توجـد بـالغلاف الجـوى. ويقـدر العلماء كميته فى الجو بحوالى ٣٦٣٤٨ طنًّا/ فدان من سطح الكرة الأرضية. ولكـى يمكـن للنبات استعماله، فإنـه يجـب أن يتحـول أولاً إلى الـصورة العـضوية، وهـى عمليـة تـتم باستمرار فـى التربـة تحـت كـل مـن الظـروف الهوائيـة واللاهوائيـة، ولكـن تقـوم بهـا مجموعتان مختلفتان من الكائنات الحية.

ففى الظروف الهوائية (التهوية الجيدة والصرف الجيـد) يـتم تثبيـت آزوت الهـواء الجوى فى التربة بواسطة بكتيريا تستخدم الطاقة اللازمـة لنـشاطها مـن المـواد العـضوية التى توجـد بالتربـة، وهـى: *Azotobacter chroococcum* و *A. agile*، وغيرهمـا من نفس جنس البكتيريا، وتثبت هذه البكتيريا نحو ١٨–٢٠ كجم من النـيتروجين بكـل فدان سنويًّا.

كما يُثبت آزوت الهواء الجـوى أيـضًا بواسـطة كـل مـن: الطحالـب الخـضراء المزرقـة blue-green algae، ومجموعة الفطريات الجذرية التى تسمى mycorrhiza.

وتكثر الطحالب الخضراء المزرقة فى الأماكن الدافئة الرطبة علـى سـطح التربـة، أو على سطح البرك والبحيرات، وبـصفة خاصـة فـى حقـول الأرز. وتقـوم هـذه الطحالـب بتجهيـز الـسكريات بنفـسها، كمـا يـستخدم آزوت الهـواء الجـوى مباشـرة فـى بنـاء بروتوبلازم خلاياها.

أما فطريات الميكوريزا، فإنها تعيش معيشة وثيقة مع جذور بعض النباتـات؛ كالتفـاح، والكمثرى، والخوخ، والبرقوق، والبكان، والموالح، والكاكاو، والبصل، والفراولـة، والأزاليـا؛

حيث تحصل من جذور هذه النباتات على الطاقة والغذاء اللازمين لها. وهى لا تثبت آزوت الهواء الجوى مباشرة، ولكنها تساعد بطريقة غير معروفة على زيادة محتوى التربة من النيتروجين. وتقوم الميكوريزا أيضًا بجعل الفوسفور والكالسيوم والمغنيسيوم أكثر وفرة وتيسرًا لاستعمال النبات. وتعتبر المادة العضوية الناتجة بعد موت وتحلل هذه الفطريات بمثابة مادة مخلبية تعمل على توفير المنجنيز والحديد والنحاس للنباتات.

أما فى الظروف اللاهوائية، فإن آزوت الهواء الجوى يثبت فى التربة بواسطة نوع آخر من البكتيريا هو: *Clostridium pastorianum*.

ومن أنواع البكتيريا — التى تعيش معيشة حرة فى التربة — وتقوم بتثبيت آزوت الهواء الجوى ما يلى (عن White ١٩٩٧):

	المجموعة البكتيرية	الأنواع
هوائية	Aerobes	*Azotobacter*, *Bejerinckia* spp.
هوائية قليلاً	Microaerobic	*Azospirillum brasilense*
		Thiobacillus ferrooxidans
لا هوائية اختيارية	Facultative anaerobes	*Klebsiella* spp., *Bacillus* spp.
لا هوائية إجبارية	Obligate anaerobes	*Clostridium pasteuranium*
		Rhodospirillum spp.
		Chlorobium spp.
		Desulphovibrio spp.

ومن الطحالب الخضراء المزرقة التى تقوم بتثبيت آزوت الهواء الجوى — وجميعها هوائية وتقوم بعملية البناء الضوئى — كل من: *Nostoc*، و *Anabena* spp.، و*Gloecapsa spp.*

العوامل المؤثرة فى نشاط الكائنات الدقيقة ذات العلاقة بتحولات النيتروجين فى التربة

يتأثر نشاط الكائنات الدقيقة التى تقوم بعمليات تحول النيتروجين فى التربة بعديد من العوامل، سواء أكان ذلك بالنسبة للكائنات التى تقوم بتثبيت آزوت الهواء الجوى، أم تلك التى تقوم بعملية النشدرة ammonification، أو بعملية النترتة nitrification. ومن هذه العوامل ما يلى:

١- درجة حرارة التربة:

يقل نشاط هذه الكائنات بشدة فى درجات الحرارة الشديدة الانخفاض والشديدة الارتفاع. ويتراوح المجال الحرارى المناسب لها بين ١٥°م و٣٠°م.

٢- نسبة الرطوبة فى التربة:

يزداد نشاط هذه الكائنات عند توفر الرطوبة، لأن الماء يساعد على تحلل المادة العضوية، كما أنه الوسط الذى تذوب فيه العناصر اللازمة لهذه الكائنات الدقيقة أثناء تكاثرها.

٣- الأكسجين:

يلزم الأكسجين لنشاط هذه الكائنات؛ ولذا كان الصرف الجيد أمرًا ضروريًّا. وعند رداءة الصرف تنشط بكتيريا *Pseudomonas denitrificans* التى تعيش فى غياب الأكسجين الحر، وتقوم بتحليل النيتروجين النتراتى إلى نيتروجين حر غازى؛ مما يؤدى إلى فقر التربة فى النيتروجين تدريجيًّا.

٤- pH التربة:

أفضل مجال pH لنمو هذه الكائنات يتراوح بين ٦ و٧، ويكون نشاطها قليلاً أو معدومًا فى الأراضى الشديدة الحموضة والشديدة القلوية.

٥- العناصر:

أكثر العناصر تأثيرًا على نشاط البكتيريا هـى: الموليبـدنم، والحديـد، والكالـسيوم، وتحتاج إليها بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى لزيادة نشاطها.

تأثير pH التربة على تيسر النيتروجين فيها

يكثر النيتروجين فى الطبقات العليا، ويقل كلما تعمقنا فى التربة؛ ذلـك لأن المـادة العضوية تكثر فى الطبقات العليا من التربة. ويتوفر النيتروجين فى pH ٦ - ٨، ويقـل نسبيًا فى pH ٥ - ٦، و٨ - ٩، ويصبح النقص شديدًا فى pH أقـل مـن ٥، أو أعلـى من ٩، ويكثر ظهور أعراض نقص النيتروجين فى الأراضى الفقيرة فى محتواها من المـادة العضوية.

فقد النيتروجين من التربة

يعتبر النيتروجين مـن أكثـر العناصـر الغذائيـة عرضـة للفقـد بالرشـح مـن التربـة، وخاصة فى المناطق التى تكثير فيها الأمطار. ويفقد النيتروجين فى صورة نـترات بـسرعة كبيرة لذوبانها فى الماء وفقدها فى ماء الـصرف. أمـا النـيتروجين الأمونيـومى، فيـدمص على سطح حبيبيـات الطـين، ويقـاوم الفقـد بالرشـح، ولكـن مـع مـرور الوقـت يتحـول النيتروجين فى التربة من الصورة الأمونيومية إلى الصورة النتراتية بفعل الكائنـات الحيـة الدقيقة؛ ومن ثم يتعرض للفقد بالرشح، وتزداد سـرعة هـذا التحـول مـع ارتفـاع درجـة الحرارة، وتوفر الرطوبة الأرضية، والتهوية المناسبة.

ومن المعتقد أن النباتات تستفيد من نحو ٥٠٪ من الـسماد الآزوتـى المـضاف تحـت معظم الظـروف، وأن معظـم الفقـد يحـدث بعـد تحـول الآزوت فـى التربـة مـن الـصورة الأمونيومية إلى الصورة النتراتية.

وفى الظروف اللاهوائية تنشط بعض أنواع مـن البكتيريـا مثـل: *Pseudomonas*

denitrificans؛ حيث تقوم بتحويل النترات NO_3^- إلى أكسيد نيتريت nitrous oxide وغاز نيتروجين؛ وبذا يُفْقَدُ النيتروجين من التربة، فيما يعرف بعملية نزع النيتروجين denitrification.

ماء المطر كمصدر للنيتروجين

يعتبر المطر أحد مصادر النيتروجين في التربة؛ حيث يؤدى البرق وما به من شحنات كهربائية إلى تكوين أكسيد النتروز nitrous oxide الذى يسقط مع ماء المطر إلى التربة. ويصل إلى التربة بهذه الطريقة نحو ٢ كجم نيتروجين أمونيومى، ونحو ٣/٤ كجم نيتروجينًا نتراتيًا/فدان سنويًا. فإذا أخذنا الفقد بالرشح فى الحسبان، يكون المتوسط نحو ١/٤ ٢ كجم نيتروجين/ فدان سنويًا. ويزيد المتوسط عن ذلك قليلاً فى المناطق الاستوائية ، ويقل قليلاً فى المناطق شبه الجافة (Buckman & Brady ١٩٦٠).

تثبيت آزوت الهواء الجوى فى جذور البقوليات بواسطة بكتيريا العقد الجذرية

أنواع بكتيريا الرايزوبيم وتخصصها على مختلف البقوليات

تعيش بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى فى العقد الجذرية للبقوليات، وهى تتبع الجنس ريزوبيم *Rhizobium* الذى يوجد منه نحو ١٨ نوعًا تتخصص على البقوليات المختلفة. وقد يتعايش أكثر من نوع من هذه البكتيريا مع محصول بقولى واحد، ونجد فى هذه الحالة اختلافًا فيما بينهم فى درجة كفاءة تثبيت آزوت الهواء الجوى.

وتقسم أنواع بكتيريا الجنس *Rhizobium* إلى عدة مجموعات تعرف باسم

cross inoculation groups، لا يمكن لأية مجموعة منها أن تصيب نباتات من غير مجموعتها؛ وهي كما يلي:

المجموعة	المحاصيل التي تصيبها
البرسيم الحجازي	البرسيم الحجازي، والبرسيم الحلو الأصفر والأبيض
البرسيم	البرسيم الأحمر والأبيض والقرمزي
البسلة	البسلة، وبسلة الزهور، والفول الرومي
الفاصوليا	الفاصوليا
الترمس	الترمس
فول الصويا	فول الصويا
اللوبيا	اللوبيا، وفاصوليا الليما، والفول السوداني

وفيما يلي أنواع البكتيريا المتخصصة على محاصيل الخضر البقولية (Tisdale & Nelson ١٩٧٥).

البكتيريا	البقوليات التي تتخصص عليها
Rhizobium leguminosarum	البسلة
R. phaseoli	الفاصوليا العادية
R. japonicum	فول الصويا
نوع لم يحدد اسمه	اللوبيا وفاصوليا الليما

العقد الجذرية

يختلف عدد العقد بالنبات الواحد من عدد قليل إلى ألف عقدة أو أكثر، كما تختلف في توزيعها على المجموع الجذري وفي حجمها حسب النوع النباتي (شكل ١-١). وتستطيع بكتيريا العقد الجذرية أن تعيش في التربة في غياب العائل مدة ١٠ — ٢٠ سنة،

ولكن زراعة العائل من آن لآخر تعمل على زيادة نشاطها. وتتراكم هذه البكتيريا قريبًا من جذور النباتات البقولية، وغالبًا ما يرجع ذلك إلى إفرازات خاصة من الجذور. هذا .. ويزداد تكون العقد تحت الظروف المناسبة للنمو الجيد للعائل. ويوضح شكل (١-٢) طريقة اختراق البكتيريا للشعيرات الجذرية بالبقوليات. ويلاحظ بالشكل أن الشعيرة الجذرية التى تخترقها البكتيريا تنحنى عند القمة، ويعقب ذلك تكون خيط إصابة infection thread، ثم تظهر العقدة فى النهاية.



شكل (١-١): العقد الجذرية المحتوية على بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى من جنس ***Rhizobium*** **بجذور نبات فول الصويا (عن Galston ١٩٦٤)**

شكل(١-٢): طريقة اختراق بكتيريا الجنس *Rhizobium* للشعيرات الجذرية بالبقوليات، ثم تكوين العقد الجذرية root nodules (عن Devlin ١٩٧٥)

طريقة تكوين العقد الجذرية

عندما تلامس بكتيريا العقد الجذرية جذر نبات بقولى، فإن بعض البكتيريا تخترق الشعيرات الجذرية مكونة خيط إصابة infection thread يتجه نحو قاعدة الشعيرة الجذرية، حتى يصل إلى الإندوديرمز والبيريسيكل؛ حيث تبدأ خلايا هذه المنطقة فى الانقسام النشط كرد فعل من جانب النبات؛ فيتكون نمو متدرن tuberous gorwth، أو ما يسمى بالعقدة nodule. وعليه .. فإن العقدة ما هى إلا كتلة من أنسجة الجذر تعيش فيها البكتيريا.

ومن المعروف أن هذه البكتيريا قادرة على إنتاج منظم النمو إندول حامض الخليك (IAA). وربما يكون ذلك هو المحفز على انقسام خلايا الجذر لتكوين العقدة، لكن من المعروف أنه يوجد عديد من البكتيريا الأخرى القادرة على إنتاج نفس منظم النمو، ولكنها لا تحدث عقدًا جذرية شبيهة بتلك التى تحدثها هذه البكتيريا.

وتبدأ أولى خطوات تكوين العقدة الجذرية سريعًا بعد إنبات البذور، ومع استمرار النمو السريع للجذور؛ حيث تكون الظروف بالمنطقة المحيطة بالجذور (الـ rhizosphere) مناسبة لنمو هذه البكتيريا؛ فتخترق الشعيرات الجذرية وتتكاثر بسرعة نتيجة لتوفر الغذاء. ويتكون من هذه البكتيريا خيط العدوى الذى يحاط بإفرازات من السيليليوز، والهيميسيليوز، يفرزها العائل. ولا تخرج البكتيريا من هذا الغشاء المحيط بها إلا بعد وصولها إلى الخلايا الداخلية بالقشرة؛ حيث تبدأ الخلايا فى الانقسام، والعقدة فى الظهور (شكل ١-٢). وتتصل العقد بالحزم الوعائية للجذور، وينتقل إليها الغذاء. وقد تحتوى العقدة الواحدة على ملايين البكتيريا (شكل ١-٣).

هذا .. وتحتوى خلايا العقد على ضعف العدد الطبيعى من الكروموسومات. وهذا التضاعف لا يحدث كرد فعل لدخول البكتيريا، ولكن البكتيريا ذاتها لا تكون قادرة على إحداث الانقسام النشط وتكوين العقد إلا إذا وصل خيط العدوى إلى خلية متضاعفة من خلايا الجذر.

طريقة تثبيت النيتروجين فى العقد الجذرية

يمكن عند فحص خلايا العقدة الجذرية ملاحظة وجود صبغة حمراء شبيهة إلى حد كبير بالهيموجلوبين الذى يوجد فى خلايا الدم الحمراء؛ ولهذا سميت باسم "لجهيموجلوبين leghemoglobin"، ويبدو أنها ناتج من نواتج تفاعل الجذر البقولى مع البكتيريا؛ لأن أيًّا منهما بمفرده لا يكون قادرًا على إنتاج هذه الصبغة.



شكل (١-٣): بكتيريا الرايزوبيم داخل خلايا العقدة الجذرية.

وتدل نتائج عديد من الدراسات أن لهذه الصبغة علاقة أكيدة بتثبيت آزوت الهواء الجوى؛ لأن التثبيت لا يحدث إلا فى العقد المحتوية على هذه الصبغة، كما أن المقدرة على تثبيت آزوت الهواء الجوى تتناسب طرديًا مع تركيز الصبغة. ولا يعرف على وجه التحديد كيف تساعد الصبغة فى عملية تثبيت آزوت الهواء الجوى، لكن ربما يكون ذلك من خلال توفيرها للأكسجين اللازم لهذه العملية؛ نظرًا لأنها ذات مقدرة عالية على اجتذاب الأكسجين؛ مما يؤدى إلى وصوله إلى البكتيريا فى الجذور، حتى لو كان تركيزه منخفضًا فى التربة.

ويستدل من الدراسات التي أجريت في هذا الشأن على أن تثبيت آزوت الهواء الجوى في النباتات البقولية يتم بواسطة جذور النباتات نفسها، ولكن لأسباب ما زالت مجهولة لا تستطيع النباتات القيام بهذه المهمة في غياب بكتيريا العقد الجذرية التي تتبع الجنس *Rhizobium*. والتوازن دقيق بين بكتيريا العقد الجذرية والعائل البقولي، فلو انخفض مقدار المواد الكربوهيدراتية التي تصل إلى هذه البكتيريا لتحولت إلى بكتيريا مرضية Pathogenic تستهلك نيتروجينًا من النبات، بدلاً من تثبيته من الجو.

هذا .. وتكون الأمونيا هي أول منتج لعملية تثبيت آزوت الهواء الجوى، وهي التي قد يستفيد منها النبات مباشرة.

كيفية استفادة النبات البقولي من النيتروجين المثبت في جذوره

تبدأ العقد في مد النبات بالنيتروجين ابتداء من اليوم الخامس عشر، برغم أنه يمكن رؤيتها ابتداء من اليوم التاسع للإصابة بالبكتيريا. وربما لا تتجاوز الفترة النشطة من حياة العقدة أكثر من أربعة أسابيع، ولكن تكوين العقد ربما يستمر حتى المراحل المتأخرة من نضج البذور.

ويستفيد النبات من جزء من النيتروجين المثبت مباشرة عندما يكون التثبيت بسرعة أكبر من حاجة البكتيريا بالعقد، أو قد يتسرب النيتروجين الزائد إلى التربة، ثم يمتصه النبات. وفي هذه الحالة فإن النيتروجين المتسرب يكون في صورة بيتا آلانين B-alanine أو حامض أسباريتك aspartic acid. وقد يحصل النبات على النيتروجين بعد موت الخلايا البكتيرية في الجذور، أو أن البكتيريا تفرز مواد آزوتية ذائبة في سيتوبلازم خلايا الجذر. وطبيعي أن حرث النبات نفسه في التربة وتحلل العقد والنبات بما فيه من آزوت يعمل على توفير هذا العنصر للمحاصيل التالية في الزراعة (Millar وآخرون ١٩٦٩، و Devlin ١٩٧٥، و Cobley & Steele ١٩٧٦، Smartt ١٩٧٦).

العوامل المؤثرة على عملية تثبيت آزوت الهواء الجوى فى جذور البقوليات

إن من أهم العوامل المؤثرة على عملية تثبيت آزوت الهواء الجوى فى جذور البقوليات ما يلى:

١- يتأثر تثبيت آزوت الهواء الوى فى العقد الجذرية بكل من: الحديد، والكوبالت، والموليبدنم، والكالسيوم، والبورون، والفوسفور؛ فالحديد يدخل فى تركيب صبغة اللجهيموجلوبين. والكوبالت جزء أساسى من فيتامين B_{12}، وهو مركب ربما يكون له دور فى تكوين الصبغة، والموليبدنم عبارة عن مرافق إنزيمى يعمل كمستقبل ومعط للإليكترونات أثناء اختزال النيتروجين إلى أمونيا. أما الكالسيوم، فيؤدى نقصه إلى نقص تثبيت آزوت الهواء الجوى، وربما يرجع ذلك إلى التأثير السلبى لنقص الكالسيوم على اختزال النيتروجين فى العقدة.

وتُظهر دراسات Bolaños وآخرين (١٩٩٤) أن غياب البورون فى البسلة أدى إلى نقص عدد العقد الجذرية، وحجمها، ووزنها، وتثبيط نشاط إنزيم nitrogenase. وبفحص العقد الجذرية فى هذه النباتات وجدت بها تغيرات كبيرة فى تركيب الجدر الخلوية وفى أغشية خيوط الإصابة infection thread membranes.

كما توصل Adu-Gyamfi وآخرون (١٩٨٩) من دراساتهم على بسلة بيجون (*Cajanus cajan*) إلى أن زيادة التسميد الفوسفاتى أحدثت زيادة جوهرية فى تثبيت آزوت الهواء الجوى، وأن هذه العملية تأثرت — بشدة — بقدرة النبات على امتصاص الفوسفور. كما احتوت العقد الجذرية على تركيزات عالية من الفوسفور — حتى تحت ظروف نقص العنصر — مما يعنى قدرة العقد الجذرية على الاحتفاظ بالفوسفور بدرجة أكبر عن قدرة بقية الأعضاء والأنسجة النباتية. هذا .. إلا أن العقد الجذرية لعبت دورًا — كذلك — فى نقل جزء من الفوسفور الممتص إلى الأوراق.

ويستدل من دراسات Mahmoud & Abd-Allah (١٩٩٤) على أن تواجد التوكسينات الفطرية Mycotoxins فى التربة بتركيز ١٠٠ — ٢٠٠ ميكروجرام/كجم من التربة قلل عدد العقد الجذرية ووزنها الطازج ونشاط إنزيم النيتروجينيز Nitrogenase فى جذور الفول الملقحة بالبكتيريا *Rhizobium leguminosarum*، كما ثبطت الميكوتوكسينات تمثيل صبغة اللجهيموجلوبين، والمواد الكربوهيدراتية، والبروتين فى العقد الجذرية.

٢- ويستدل من عديد من الدراسات على أن الإفراط فى التسميد الآزوتى للبقوليات يقلل من نشاط الرايزوبيم فى تثبيت آزوت الهواء الجوى. ولكن إضافة النيتروجين بكميات معتدلة فى بداية حياة النبات تكون ضرورية لتشجيع نمو البادرات. كذلك تحتاج النباتات إلى كميات أخرى معتدلة من العنصر فى مراحل النمو التالية؛ ذلك لأن عملية تثبيت آزوت الهواء الجوى لا تكون- أبدًا — بالقدر الذى يكفى لإعطاء أفضل نمو وأعلى محصول. فأقصى ما يمكن أن تقوم البكتيريا بتثبيته — تحت أفضل الظروف لذلك — لا يزيد على ٥٠٪ — ٧٥٪ من حاجة النبات الفعلية.

٣- ويمكن أن تنخفض أعداد البكتيريا كثيرًا إذا تُركت البذور الملقحة فترة كبيرة فى تربة جافة دون ريّ؛ فالتربة يجب أن تروى مباشرة عقب الزراعة، أو أن تكون رطبة أصلاً عند زراعة البذور فيها. كما أن نقص الرطوبة الأرضية أثناء نمو النباتات يقلل من عملية تثبيت الآزوت.

٤- ويقل تثبيت الآزوت عند انخفاض pH التربة؛ بسبب نقص تيسر عنصر الموليبدنم الضرورى لهذه العملية (عن Stoskopf ١٩٨١).

كمية النيتروجين التى تثبت فى العقد الجذرية

قُدرت كمية النيتروجين التى تثبت بواسطة بكتيريا العقد الجذرية، ونسبة ما

يستفيد منه المحصول المزروع من النيتروجين المثبت كما يلى (عن White ١٩٨٧، و Herridge وآخرين ١٩٩٤).

المحصول	كمية النيتروجين المثبت (كجم/فدان)	نسبة النيتروجين التى يستفيد منها المحصول (٪)
الحمص	١,٢٥ — ٥٨,٧٥	٨ — ٨٢
العدس	٤,٢٠ — ٨٠,٠٠	٣٩ — ٨٧
البسلة	٧,١٠ — ١٠١,٧٠	٢٣ — ٨٣
الفول	٣٢,٥٠ — ١٣٧,٥٠	٥٩ — ٩٣
فول الصويا	٣٧,٥٠ — ٨٣,٣٠	—
الفاصوليا	٢٦,٧	—
بسلة بيجون	٤٠,٤٠ — ٦٣,٣	—

وتعد هذه التقديرات — بالرغم من تباينها الشديد — مجرد مؤشرات؛ لأن عملية تثبيت الآزوت بواسطة بكتيريا العقد الجذرية تتأثر بعديد من العوامل.

وليس لحجم العقدة الواحدة أهمية كبيرة فى مقدار النيتروجين المثبت، وإنما العامل المؤثر هو الحجم أو الوزن الكلى لجميع العقد الجذرية بالنبات. ويعد وجود ٢٠ عقدة جذرية فى نبات فول الصويا بعد شهر من الزراعة دليلاً على أن عملية التعقد الجذرى تتم بصورة جيدة.

معاملة بذور البقوليات ببكتيريا العقد الجذرية

يجرى التلقيح ببكتيريا العقد الجذرية فى الحقول التى لم تسبق زراعتها بالمحصول البقولى، وتلك التى لم تزرع بنفس المحصول لمدة أربع سنوات خلت.

يتم التلقيح ببكتيريا العقد الجذرية من النوع المناسب للمحصول قبل الزراعة مباشرة، ويجرى ذلك بأحد التحضيرات التجارية من البكتيريا المناسبة للنوع المحصولى كما يلى:

١- تحضيرات بكتيرية فى البيت موس:

يضاف التحضير — عادة — مباشرة إلى البذور الجافة ويخلط معها، ولكن يبلل البيت موس بقليل من الماء قبل خلطه بالبكتيريا. تزرع البذور المعاملة مباشرة، ولا تعرض لأشعة الشمس المباشرة.

٢- تحضيرات بكتيرية سائلة:

تضاف هذه التحضيرات — عادة — إلى التربة قريبًا من البذور.

٣- تحضيرات محببة (مبرغلة):

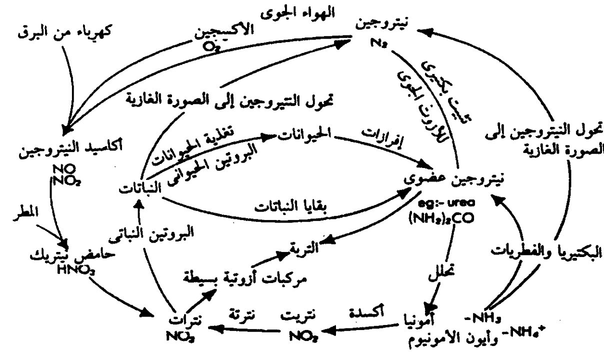
تتميز هذه التحضيرات بأنها يمكن أن تُزيد كثيرًا من أعداد البكتيريا حول البذور؛ الأمر الذى يكون له أهمية فى الحقول التى لم تسبق زراعتها بالمحصول. تضاف التحضيرات المحببة إلى التربة — مع البذور — عند الزراعة. وتزيد التحضيرات المحببة فرصة بقاء البكتيريا فى التربة الجافة.

وفى جميع الحالات .. يجب أن تحتوى التربة على نسبة معتدلة من الرطوبة قبل الزراعة.

هذا .. ولا تلزم إعادة عملية التلقيح سنويًا إذا استمرت زراعة المحصول سنويًا — أو على فترات متقاربة — فى نفس الحقل. كما أن التلقيح بسلالات بكتيرية عالية الكفاءة لا يفيد فى زيادة معدلات عملية التثبيت، لأن السلالات التى استوطنت الحقل تكون أكثر قدرة على المنافسة من السلالة الجديدة المضافة، إلا أن التحضيرات المحببة قد تفيد فى إعطاء السلالة الجديدة فرصة أكبر على المنافسة (عن Stoskopf ١٩٨١).

دورة النيتروجين فى الطبيعة

يبين شكل (١-٤) دورة النيتروجين فى الطبيعة بين التربة والهواء، وبين النبات والحيوان (عن Fordham & Biggs ١٩٨٥).



شكل (١-٤): دورة النيتروجين فى الطبيعة

الفوسفور

أهمية الفوسفور للنبات

يدخل الفوسفور فى تركيب الأحماض النووية، ويلعب دورًا كبيرًا فى كثير من التفاعلات الإنزيمية. فهو يدخل فى تركيب كل الأحماض النووية (مثل: الـ DNA، والـ RNA، و tRNA، والـ ribosomal RNA)، بالإضافة إلى دخوله فى تركيب الإنزيمات اللازمة لتفاعلات الطاقة المختلفة فى عمليات التنفس والبناء الضوئى، وكذلك يدخل فى تركيب المركبات الفوسفورية ذات الروابط الغنية بالطاقة (الـ ADP، والـ ATP) وفى مرافقات الإنزيمات NAD و NADP ، وفى تركيب بعض الدهون (الـ phospholipids).

ومن ثم، فإن الفوسفور عنصر أساسى فى النبات، فهو يدخل فى تركيب الأحماض

النووية، وهى أحماض مهمة بالنسبة للكائن الحى. وأهمية الـ ADP والـ ATP فى نقل الطاقة غنية عن البيان. أما مرافقات الإنزيمات NADP, NAD، فلها دورها الهام فى تفاعلات الأكسدة والاختزال، ويُعتمد عليها فى التفاعلات الحيوية الهامة فى البناء الضوئى، والتنفس، والـ glycolysis، وفى تمثيل الأحماض الدهنية وغيرها. أما الـ phospholipids، فمن المعتقد أنها تشكل مع البروتين جزءًا هامًا من الأغشية الخلوية.

ويوجد الفوسفور بتركيزات عالية فى المناطق المرستيمية التى يكون فيها النمو نشيطًا؛ حيث يشترك الفوسفور فى تمثيل البروتينات النووية.

ويعمل الفوسفور على تقليل الأثر الضار لزيادة الآزوت فى التربة، لأن وفرة الفوسفور تقلل من امتصاص النيتروجين غير العضوى، وهو يبكر فى النضج، وبذلك فهو يضاد التأثير الضار لزيادة عنصر الآزوت الذى يؤدى إلى اتجاه النبات نحو النمو الخضرى.

هذا .. ويشجع الفوسفور على نمو الجذور، وخاصة الجذور العرضية والليفية. ويتراكم جزء كبير من الفوسفور الذى يمتصه النبات فى البذور والثمار (Meyer وآخرون ١٩٦٠).

أعراض نقص الفوسفور

تبدأ أعراض نقص الفوسفور بشحوب لون الأوراق لتصبح خضراء باهتة. ومع توقف النمو تتراكم المواد الكربوهيدراتية فى النموات الخضرية؛ الأمر الذى يؤدى — سريعًا — إلى تراكم صبغة الأنثوسيانين الأرجوانية اللون، وهى التى تكسب أوراق النباتات — التى تعانى نقص العنصر — لونًا أرجوانيًا.

وتختلف أعراض نقص الفوسفور فى النباتات ذات الفلقة الواحدة عنها فى النباتات ذات الفلقتين. ففى نباتات الفلقة الواحدة يؤدى نقص العنصر إلى ظهور اللون الأحمر أو الأرجوانى فى مناطق مختلفة من الورقة فى مرحلة النمو الخضرى أما فى ذوات الفلقتين، فإن العروق الرئيسية للأوراق هى التى تأخذ اللون الأرجوانى، بينما

تبقى الأوراق الحديثة بلون أخضر داكن أو أخضر رمادى. ويزداد اللون الأرجوانى على عروق الأوراق وعلى السيقان، وبخاصة على الناحية السفلية للأوراق.

يقل امتصاص الفوسفور فى الحرارة المنخفضة؛ ولذا فإنها يمكن أن تتسبب فى ظهور أعراض متوسطة لنقص العنصر حتى مع توفره للنبات، وتختفى تلك الأعراض بمجرد ارتفاع درجة الحرارة (Jones ١٩٩٧).

ونظرًا لأن الفوسفور يتحرك بسهولة فى النبات، فإن الأعراض تظهر على الأوراق السفلية المسنة أولاً؛ لأن الأوراق الحديثة تسحب احتياجاتها من الفوسفور، حتى لو تطلب الأمر تحرك العنصر من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة. ويكون تحرك العنصر فى صورة أيون الفوسفات.

ويَضْعُف تكوينُ الجذور الليفية ونموها فى النباتات التى تعانى نقص الفوسفور.

وبصفة عامة .. يكون نمو النباتات التى تعانى نقص الفوسفور بطيئًا، وسيقانها رفيعة ومتليفة، وتتأخر فى النضج. وقد تسقط البراعم الزهرية والأزهار، وتكون الثمار صغيرة الحجم.

وتزداد حاجة النباتات إلى عنصر الفوسفور خلال مرحلتين من مراحل نموها، هما: مرحلة نمو البادرة، ومرحلة تكوين ونمو الثمار والبذور (عن Purvis & Carolus ١٩٦٤).

وتزيد احتمالات ظهور أعراض نقص الفوسفور عندما ينخفض محتوى الأوراق من العنصر عن ٠,٢٪ على أساس الوزن الجاف (عن Maynard ١٩٧٩).

أعراض زيادة الفوسفور

تؤدى زيادة الفوسفور فى التربة إلى زيادة امتصاصه على حساب عنصرى الزنك والحديد؛ الأمر الذى يؤدى إلى ظهور أعراض نقصهما على النباتات. ويحدث ذلك

بصورة واضحة في كل من الفاصوليا، والذرة السكرية (Wittwer ١٩٦٩). وتظهر أعراض التسمم بالعنصر عند زيادة تركيزه في النبات عن ١٪ على أساس الوزن الجاف.

كما أن زيادة الفوسفور في الأوقات التي تسودها درجات الحرارة المرتفعة قد تؤدى إلى نقص كمية المحصول، ويعزى ذلك إلى أن ارتفاع درجة الحرارة وازدياد الفوسفور يسرعان من نضج النبات، مما ينشأ عنه نقص في النمو الخضرى الضرورى لإنتاج محصول وافر. وتلاحظ هذه الظاهرة أحيانًا في الأراضى الرملية (مرسى وآخرون ١٩٥٩).

الصور التي يُمتص عليها الفوسفور

يمتص النبات عنصر الفوسفور في صورة أيونات الفوسفات فقط، وهي تكون في إحدى الصور التالية:

$H_2PO_4^-$ (dihydrogen phosphate)

HPO_4^{--} (monohydrogen phosphate)

PO_4^{---} (phosphate)

والصورة الأولى ($H_2PO_4^-$) هي أكثر الصور امتصاصًا؛ لأنها أكثرها ذوبانًا، ولكن يتوقف مدى توفر هذه أو تلك على pH التربة. ويتوفر الفوسفور في صورة $H_2PO_4^-$، خاصة في pH من ٥,٥ — ٦,٥.

وعلى الرغم من تسويق مركبات الفوسفيت phosphite (وهي صورة مختزلة من الفوسفات phosphate ذات فائدة مؤكدة في شحذ المقاومة الطبيعية في النباتات ضد بعض الأمراض) على أنها أسمدة فوسفاتية، فقد أوضحت الدراسات عدم جدواها — على الإطلاق — في هذا الشأن سواء أعوملت بها النباتات رشًا، أم عن طريق التربة، وسواء أضيفت بمستويات عالية، أم منخفضة (Thao وآخرون ٢٠٠٨).

تيسر الفوسفور فى التربة

تأثير pH التربة

يتوفر الفوسفور فى التربة فى pH ٦,٥ — ٧,٥، ويقل نسبيًا فى pH ٦ — ٦,٥، و ٧,٥— ٨ ويصبح النقص خطيرًا فى الأراضى التى يقل فيها الـ pH عن ٦، ولكنه يتوفر مرة أخرى فى الأراضى التى يزيد فيها الـ pH عن ٨,٥.

ويرجع نقص الفوسفور فى الأراضى الحامضية إلى تكوين فوسفات الألمونيوم، وفوسفات الحديد، وكلاهما غير قابل للذوبان. أما فى الأراضى القلوية، فيتكون فوسفات الكالسيوم الثلاثى، وهو أيضًا غير قابل للذوبان. ولا تتجاوز نسبة الفوسفور الميسر لامتصاص النبات ١٪ من الفوسفور الكلى فى الأراضى القلوية والجيرية.

ويتوفر الفوسفور فى الأراضى التى تكون قد سمدت لعدة سنوات سابقة — بغزارة — بالأسمدة الفوسفورية؛ إذ إن الفوسفور يثبت فى التربة بسهولة، ولكن بعد فترة من التسميد الغزير تقل مقدرة التربة على تثبيته. وعمومًا .. فإن كمية الفوسفور المستخدمة فى التسميد تزيد كثيرًا عن حاجة النبات الفعلية من هذا العنصر؛ لأن جانبًا كبيرًا من الفوسفور المضاف يثبت قبل أن يستعمله النبات.

الفوسفور العضوى

يوجد الفوسفور فى التربة فى صورتيه العضوية وغير العضوية. ومن الصور العضوية: الأحماض النووية، والفوسفوليبدات، والـ inositol phosphates. ويعتبر الفوسفور العضوى غير ميسر للنبات؛ لأنه غير قابل للامتصاص، ولكنه يتحلل فى النهاية إلى الصورة غير العضوية.

العوامل التى تزيد من تيسر الفوسفور للنبات

من العوامل التى تزيد من تيسر الفوسفور وتقلل تثبيته فى التربة ما يلى:

١- تركيز الأسمدة الفوسفاتية قريبًا من النبات فى شريط ضيق؛ فتزداد بذلك نسبة الفوسفور السمادى الذى يظل غير مثبت، ويبقى ميسرًا للنبات.

٢- استخدام الأسمدة الفوسفاتية المحببة granular، بدلاً من المسحوقية؛ نظرًا لصغر المساحة التى يتلامس فيها السماد مع حبيبات التربة فى الحالة الأولى؛ فتقل فرصة تثبيت الفوسفور.

٣- خلط الفوسفور غير العضوى مع الأسمدة العضوية؛ فتقل بذلك فرصة تثبيته؛ إذ إن الأحماض العضوية الموجودة بالأسمدة العضوية تعمل على تحويل الفوسفات من صورته الثلاثية إلى صورتيه الثنائية والأحادية؛ وبذلك يزيد التسميد العضوى من تيسر الفوسفور فى الأراضى القلوية.

٤- يتصاعد غاز CO_2 من جذور النباتات أثناء تنفسها، وكذلك نتيجة لتنفس الكائنات الدقيقة فى التربة، ويتكون منه حامض الكربونيك الذى يعمل على تحويل الفوسفات الثلاثى إلى فوسفات ثنائى كما يلى:



$$Ca_3(PO_4)_2 + HCO_3 \longrightarrow Ca_3(H_2PO_4)_2 + CaCO_3$$

٥- بالمحافظة على pH التربة بين ٦-٧ يمكن تقليل تثبيت الفوسفور إلى الحد الأدنى.

هذا .. وتجدر ملاحظة أن الفوسفور المثبت يظل مخزونًا فى التربة، وقد يصبح ميسرًا تحت ظروف أخرى.

وبعد أن ينتشر النمو الجذرى للنباتات بصورة جيدة فى التربة فإنها تصبح أكثر قدرة على الحصول على حاجتها من الفوسفور عما كانت عليه فى طور البادرة؛ لأن تشعب المجموع الجذرى يسمح بوصول الجذور إلى حيث يوجد الفوسفور؛ حيث إنه عنصر غير متحرك فى التربة.

وقد ازداد تركيز الفوسفور بالنموات الخضرية للكرنبيات — كثيرًا — في كل السلالات المختبرة عندما كان مستوى الزنك في التربة منخفضًا. وعلى العكس من ذلك فإن بعض التراكيب الوراثية — فقط — هي التي ازداد فيها تركيز الزنك بالنموات الخضرية عندما كان مستوى الفوسفور في التربة منخفضًا (Broadley وآخرون ٢٠١٠).

مشاكل تثبيت الفوسفور في التربة

يتأثر تثبيت الفوسفور في التربة بالعوامل التالية:

١- pH المحلول الأرضي

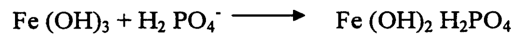
يوجد أيون الفوسفات في ثلاث صور حسب المحلول الأرضي. فتحت الظروف الشديدة الحموضة يسود أيون $H_2PO_4^-$، وفي مدى الـ pH المتوسط يسود أيون HPO_4^{--}، بينما يسود الأيون PO_4^{---} في الأراضي القلوية. وعندما يكون الـ pH وسطًا بين حالتي تأين، فإنه قد توجد صورتا الأيون. فمثلاً.. في pH ٦ قد يوجد الفوسفور في المحلول الأرضي في صورتي $H_2PO_4^-$، و HPO_4^{--}.

ويرجع هذا التأثير للـ pH إلى علاقته بتوفر أيونات الألومنيوم والحديد في الأراضي الحامضية، وأيون الكالسيوم في الأراضي القلوية؛ ومن ثم تكوين الفوسفور لأملاح غير ذائبة مع هذه الأيونات.

ففي الأراضي الشديدة الحموضة تتوفر كميات من الحديد والألومنيوم تكفي لترسيب الفوسفات في صورة فوسفات الحديد والألومنيوم، وكلاهما غير قابل للذوبان، وغير ميسر للنبات. ويتم التفاعل كالتالي:



$$Al(OH)_3 + H_2PO_4^- \longrightarrow Al(OH)_2H_2PO_4$$



$$Fe(OH)_3 + H_2PO_4^- \longrightarrow Fe(OH)_2H_2PO_4$$

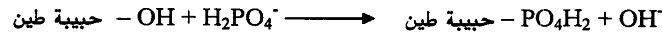
ويحدث نفس التفاعل أيضًا مع أيون المنجنيز الذي يتوفر بكثرة في الأراضي الحامضية، ويتكون فوسفات المنجنيز غير القابل للذوبان.

وفى الأراضى القلوية يتوفر أيون الكالسيوم الذى يمكنه أن يتفاعل مع صور الفوسفات الثلاث ليكون فوسفات أحادى الكالسيوم $Ca\ (H_2PO_4)_2$، وفوسفات ثنائى الكالسيوم $CaHPO_4$، وفوسفات ثلاثى الكالسيوم $Ca_3\ (H_2PO_4)_2$، والأخيرة هى أكثر الصور تكونًا فى الأراضى القلوية، وتعتبر — تقريبًا — غير قابلة للذوبان فى الماء، وغير ميسرة للنبات. أما فوسفات أحادى الكالسيوم، فهى قابلة للذوبان فى الماء والفوسفور فيها صالح للامتصاص. وتعتبر فوسفات ثنائى الكالسيوم قابلة للذوبان، وتوفر الفوسفور للنبات بصورة تدريجية.

وعليه .. فإنه عند تسميد الأراضى القلوية الغنية بكربونات الكالسيوم (الكالسيت $CaCO_3$) بالسوبر فوسفات فإنه تتكون فوسفات ثلاثى الكالسيوم غير القابلة للذوبان؛ وبذلك لا تستفيد النباتات من الفوسفور المضاف. وتجدر ملاحظة أن الفوسفات تتفاعل مع أيون المغنيسيوم بنفس طريقة تفاعلها مع الكالسيوم، وتكون فوسفات أحادى وثنائى وثلاثى المغنيسيوم.

٢- التبادل الأنيونى Anion Exchange

قد يحدث تبادل بين أنيون الفوسفات الموجود فى المحلول الأرضى والأنيونات الأخرى على سطح حبيبات التربة. ويتم معظم التبادل فى الظروف التى تميل قليلاً نحو الحموضة بين أنيون $H_2PO_4^-$، وأنيون OH^- كالتالى:



حبيبة طين $- OH + H_2PO_4^- \longrightarrow$ حبيبة طين $- PO_4H_2 + OH^-$

ويعتبر أيون الفوسفات المدمص بهذه الطريقة مثبتًا؛ لأنه يدمص بشدة، ولا يستطيع النبات امتصاصه.

وتؤدى إضافة كربونات الكالسيوم للتربة إلى انطلاق أنيون الهيدروكسيل OH^-؛ مما يؤدى إلى عكس التفاعل السابق؛ حيث تحل أيونات الهيدروكسيل المنطلقة محل

أيونات الفوسفات على سطح حبيبات التربة، وتصبح بذلك ميسرة للنبات. وتعمل كربونات الكالسيوم المضافة أيضًا على رفع الـ pH؛ مما يؤدى إلى انطلاق أيون الفوسفات من صورته المترسبة مع الألومنيوم والحديد، إلا أن زيادة إضافة كربونات الكالسيوم بالدرجة التى تؤدى إلى رفع الـ pH عن ٧ قد تؤدى إلى تثبيت الفوسفات ثانيةً فى صورة فوسفات الكالسيوم غير القابلة للذوبان.

٣- النشاط الحيوى بالتربة

قد يثبت جزء كبير من الفوسفور الموجود فى التربة بيولوجيا فى الكائنات الدقيقة التى تعيش فيها، لكن الفوسفور المثبت بهذه الطريقة سرعان ما يعود إلى التربة ثانية عند تحلل هذه الكائنات (Devlin ١٩٧٥).

البوتاسيوم

دور البوتاسيوم فى النبات

يمتص النبات البوتاسيوم بكميات أكبر مما يمتص أى عنصر آخر. ويعتبر هو الكاتيون السائد فى النبات. ومعظم النباتات تمتص كميات من البوتاسيوم أكثر من حاجتها الفعلية إلى النمو وإعطاء محصول جيد. ويسمى الامتصاص الزائد للبوتاسيوم باسم الاستهلاك الترفى. ولا يدخل البوتاسيوم فى التركيب الكيميائى للنبات كالعناصر الأخرى؛ فهو يتواجد كملح غير عضوى، إلا أنه يتواجد أيضًا كملح بوتاسيوم للأحماض العضوية.

ويبدو أن للبوتاسيوم علاقة بتمثيل الأحماض النووية فى النبات، كما أن له أهمية كبيرة فى عملية انقسام الخلايا، وتنظيم نفاذية الأغشية فى النبات. وقد وجد أن نقص البوتاسيوم يؤدى إلى تراكم مركبات النيتروجين الذائبة، بينما يقل محتوى النباتات من النيتروجين؛ ويعنى ذلك أن البوتاسيوم مرتبط بطريق ما بتمثيل البروتين من الأحماض الأمينية. كما وجد أن نقص البوتاسيوم يؤدى أيضًا إلى بطء عملية البناء الضوئى، وزيادة التنفس. وينظم البوتاسيوم تمثيل الكربون فى النبات.

ويلعب البوتاسيوم دورًا هامًا فى انتقال السكريات والبروتين فى النبات؛ ومن ثم فإنه يؤثر على اختزان المواد الكربوهيدراتية فى أعضاء التخزين (Bukman & Brady ١٩٦٠).

يلعب البوتاسيوم دورًا هامًا فى نشاط وثبات الإنزيمات والأغشية الخلوية، وفى تمثيل البروتينات والنشا، والانتقال خلال الأغشية. ويحتاج النبات البوتاسيوم لِما يُعرف باسم الـ k^+-shuttle system الذى يُنظّم انتقال العناصر والغذاء المجهز بين الجذور والنمو الخضرى، كما يلزم البوتاسيوم فى تنظيم الضغط الأسموزى وضغط الامتلاء والمحافظة على حجم الخلايا. وفى النباتات النامية يُسهم البوتاسيوم بدور أساسى فى الجهد الأسموزى الذى يُعد أحد مكونات الجهد المائى الذى يحدد امتصاص الجذور للماء. كذلك يلعب البوتاسيوم دورًا هامًا فى تنظيم فتح الثغور بالأوراق؛ الأمر الذى يؤثر فى عملية النتح (عن Shibairo وآخرين ١٩٩٨).

هذا .. ولا يمكن الاستغناء عن البوتاسيوم، أو إحلاله نهائيًا بعنصر شبيه له بدرجة كبيرة، كالصوديوم أو الليثيوم. ويمتص العنصر فى صورة أيون البوتاسيوم K^+.

ويزداد تركيز البوتاسيوم فى المناطق الحديثة النشطة، وخاصة البراعم والأوراق الصغيرة والقمم النامية للجذور، بينما يقل وجوده فى البذور والثمار الناضجة.

ينظم البوتاسيوم سمك الجدر الخلوية؛ ومن ثم يؤثر فى صفات النبات المرتبطة بذلك كالرقاد وخلافه. وعند نقص البوتاسيوم تكون الأنسجة الوعائية ضعيفة.

أعراض نقص البوتاسيوم

عند نقص البوتاسيوم فى التربة ينتقل العنصر من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة؛ لأنه يوجد بحالة ذائبة فى النبات؛ وعليه.. تظهر أعراض نقصه فى الأوراق المسنة أولاً، ويكون ذلك فى البداية فى صورة اصفرار خفيف على حواف الأوراق، يتبعه تقدم الاصفرار على امتداد العروق، ويتغير لون الحواف إلى اللون البنى الداكن. وتسمى

هذه الحالة باسم انسفاع أو احتراق Scorching. وقد تأخذ حواف الأوراق لونًا برونزيًا وتجف، وتظهر بقع بنية متناثرة على حواف الورقة.

وفى الخيار تصبح حواف الأوراق المسنة صفراء، ولكن يبقى العرق الوسطى والعروق الأخرى بالورقة خضراء اللون. وفى الطماطم والبطاطا تصبح الأوراق خشنة الملمس ومجعدة puckered، وتلتف حوافها لأسفل، وتصفر، وفى النهاية تتحول إلى اللون البنى.

وفى نباتات الفلقة الواحدة يبدأ الاصفرار من قمة الأوراق، ويمتد لأسفل نحو الحواف، ويظل مركز الأوراق أخضر اللون.

وعمومًا .. فإن نمو النبات الذى ينقصه البوتاسيوم يكون بطيئًا، ولا تكون الثمرة الواحدة متجانسة فى نضجها، كما فى حالة النضج المتبقع Blotchy Ripening فى الطماطم ومن أهم أعراض نقص البوتاسيوم نقص التغليظ الثانوى فى الجذور والدرنات، مما ينتج عنه تكوين أعضاء تخزين (جذور أو درنات) رفيعة.

ويؤدى نقص البوتاسيوم إلى نقص المقدرة على التخزين، وإلى النضج المتبقع فى الطماطم، كما تقل نوعية البطاطس (Humbert ١٩٦٩)، وتزيد القابلية للإصابة بالأمراض.

تزيد احتمالات ظهور أعراض نقص البوتاسيوم عندما ينخفض محتوى الأوراق من العنصر عن ١,٥٪ على أساس الوزن الجاف، بينما يزيد التركيز الطبيعى عن ذلك وحتى ٣٪. ومثل النيتروجين .. يزيد تركيز البوتاسيوم كثيرًا فى النبات فى بداية حياته — حيث قد يصل التركيز إلى ٥٪ – ثم ينخفض مع التقدم فى العمر (Jones ١٩٩٧).

وقد أدت زيادة تركيز البوتاسيوم فى المحلول المغذى بمزرعة لاأرضية حتى ١ مللى مول إلى خفض الفقد المائى من جذور الجزر بعد الحصاد. كذلك أدت تلك الزيادة فى

البوتاسيوم إلى إحداث زيادة فى كل من وزن الجذور، وتركيز البوتاسيوم فيها، وجهدها المائى، وجهدها الأسموزى، وإلى خفض فى تسرب المواد الغذائية منها، لكن لم تكن لزيادة تركيز البوتاسيوم عن ١ مللى مول تأثيرًا على الفقد المائى بعد الحصاد أو الصفات الأخرى المقيسة (Shibairo وآخرون ١٩٩٨).

هذا .. إلا أن الزيادة الكبيرة فى تيسر البوتاسيوم تؤدى إلى منافسته لكل من المغنيسيوم والكالسيوم على الامتصاص؛ مما يؤدى إلى ظهور أعراض نقصهما، ويكون تأثير عدم التوازن أكبر مع عنصر المغنيسيوم عما يكون عليه الحال مع عنصر الكالسيوم (Jones ١٩٩٧).

تيسر البوتاسيوم فى التربة

يتوفر البوتاسيوم فى التربة فى pH أكثر من ٦، ويقل نسبيًا فى pH ٥–٦، ويصبح النقص شديدًا فى pH أقل من ٥.

تظهر أعراض نقص البوتاسيوم غالبًا فى الأراضى الخفيفة الرملية، وفى أغلب الأراضى العضوية. ومعظم الأراضى تحتوى على كميات كبيرة من البوتاسيوم، لكنه يوجد فى صورة غير قابلة للذوبان. وترتبط كمية البوتاسيوم الذائبة ارتباطًا قويًا بكمية الطين فى التربة؛ حيث تحتوى الأراضى الغنية بالطين على كميات عالية من البوتاسيوم الذائب. ويرجع غنى بعض الأراضى بالبوتاسيوم إلى غنى المعدن الذى تكونت منه التربة بهذا العنصر، وإلى عدم تسربه من التربة بالرشح فى المناطق شبه القاحلة.

ويتوفر البوتاسيوم فى التربة على ثلاث صور متبادلة كالتالى:

بوتاسيوم غير متبادل ⟷ بوتاسيوم متبادل ⟷ بوتاسيوم فى المحلول الأرضى.

ومع امتصاص النبات للبوتاسيوم يزداد التبادل نحو الجهة اليسرى.

ويوجد أكثر من ٩٥٪ من البوتاسيوم في صورة معادن حاملة للعنصر. وهذا البوتاسيوم بطئ التيسر للنبات. ولا تتعدى نسبة البوتاسيوم الذائب والبوتاسيوم المتبادل ١٪–٢٪ من الكمية الكلية للعنصر في التربة.

ونظرًا لأن البوتاسيوم يمكن أن يُفقد بسهولة مع الرشح في الأراضي الرملية؛ لذا.. يجب أن تكون إضافته في هذه الأراضي على دفعات صغيرة.

احتياجات محاصيل الخضر من البوتاسيوم

ينخفض محصول الخضراوات عندما يقل محتوى التربة من البوتاسيوم عن ٩٠ كجم/فدان. وتظهر أعراض نقص البوتاسيوم عندما تكون كمية البوتاسيوم المتبادل في التربة من ٤٥ — ٧٠ كجم/فدان.

ومعظم الخضراوات ذات احتياجات عالية من البوتاسيوم. وتزداد الكمية المستنفذة من العنصر بالتربة في حالة الخضراوات الورقية، كالكرفس، والخس، بينما تكون الكمية المستنفذة أقل ما يمكن في حالة المحاصيل البذرية، كالبسلة، والفاصوليا. وتتراوح الكمية المُزالة من التربة من ٣٥ كجم/فدان في حالة البسلة إلى ١٦٠ كجم/فدان في حالة الكرفس، ويبلغ المتوسط حوالى ٤٥–٧٠ كجم/فدان (Wilcox ١٩٦٩).

الكالسيوم

أهمية الكالسيوم للنبات

يلعب الكالسيوم دورًا كبيرًا في تكوين الجدر الخلوية، وخاصة في تكوين الصفيحة الوسطى middle lamella؛ حيث يتفاعل حمض البكتيك pectic acid مع الكالسيوم، مكونًا بكتات الكالسيوم غير القابلة للذوبان. وتعمل بكتات الكالسيوم مع بكتات المغنيسيوم على لصق سلاسل السليلوز بعضها ببعض أثناء عمل الجدر الخلوية؛ ولذلك.. فوجود الكالسيوم مهم في الأنسجة السريعة النمو، كمرستيم الساق، والجذر، والكامبيوم.

ويعتقد أن للكالسيوم دورًا في تكوين الأغشية الخلوية أيضًا؛ إذ إن ملح الكالسيوم للمادة الدهنية lecithin يدخل في تركيب الغشاء الخلوي.

كذلك يعتقد أن للكالسيوم دورًا فى الانقسام الخلوى الميتوزى، وأنه قد يكون له دور فى تكوين المغزل، وفى تركيب وثبات الكروموسومات؛ لأن لنقص الكالسيوم علاقة بظهور بعض التراكيب الكروموسومية غير الطبيعية Chromosomal abnormalities.

وللكالسيوم دور منشط لبعض الإنزيمات؛ مثل: phospholipase و arginine kinase، و adenosine triphosphatase وغيرها.

ويبدو أن الكالسيوم ضرورى لامتصاص النيتروجين النتراتى؛ حيث تتراكم السكريات والنشويات فى النباتات النامية فى بيئة فقيرة فى محتواها من الكالسيوم، وتكون غير قادرة على امتصاص النيتروجين النتراتى، لكن هذا الوضع يتغير بسرعة، وتظهر النترات فى وقت قصير عند التسميد بالكالسيوم.

ويتراكم معظم الكالسيوم فى النبات بالأوراق، ويمتصه النبات فى صورة أيون الكالسيوم Ca^{++}.

أعراض نقص الكالسيوم

يعد الكالسيوم من العناصر غير الذائبة فى النبات؛ لذلك فإنه لا ينتقل من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة عند نقصه فى التربة، وتظهر أعراض النقص فى الأوراق الحديثة والأنسجة الميرستيمية أولاً.

وأعراض نقص العنصر هى ظهور لون أخضر مصفر على الأوراق الحديثة، بينما تبقى الأوراق المسنة بلون أخضر عادى، إلا أن حوافها تكون — عادة — أقل اخضرارًا من مركز الورقة.

ومع استمرار نقص العنصر تظهر بقع متحللة فى الأوراق الحديثة وتلتف أطرافها لأسفل، وأحيانًا تكون حوافها متموجة وغير منتظمة النمو، كما يكون النبات متخشبًا، والنمو متقزمًا، والجذور قصيرة وسميكة؛ وذلك لارتباط الكالسيوم بالانقسام الميتوزى فى النبات. ولنفس السبب تموت القمم النامية بالسيقان والأوراق والجذور، ويتوقف النمو (Meyer وآخرون ١٩٦٠).

ويؤدى نقص الكالسيوم إلى ظهور عديد من العيوب الفسيولوجية نذكر منها — فى محاصيل الخضر — ما يلى:

١- القلب الأسود Blackheart فى الكرفس.

٢- القلب البنى Browheart فى الهندباء.

٣- احتراق حواف الأوراق Tipburn فى الخس.

٤- احتراق حواف الأوراق الداخلية Internal Tiprburn فى الكرنب.

٥- التلون البنى الداخلى Internal Browning فى كرنب بروكسل.

٦- عفن الطرف الزهرى Blossom End Rot فى الطماطم، والفلفل، والبطيخ.

٧- البقع الكهفية Cavity Spot فى الجزر والجزر الأبيض (عن Maynard ١٩٧٩).

٨- الثمار الإسفنجية Pillowy Fruit فى الخيار (عن Thomas & Staub ١٩٩٢).

وتظهر مشاكل نقص الكالسيوم — عادة — عندما ينخفض تركيزه فى الأوراق عن ٠,٠٨٪ على أساس الوزن الجاف.

يتراوح التركيز الطبيعى للكالسيوم فى النبات بين ٠,٥٪، و٢,٠٪ على أساس الوزن الجاف. وعلى الرغم من أن احتياجات النبات الفعلية من الكالسيوم لا تتجاوز ٠,٠٨٪ على أساس الوزن الجاف، فإن الكميات الكبيرة التى يمتصها النبات من العنصر ضرورية للتخلص من التأثيرات السامة للكاتيونات الأخرى، وخاصة المعادن الثقيلة مثل المنجنيز والنحاس والزنك (Jones ١٩٩٧).

ولقد أحدث النقص الشديد للكالسيوم فى المحلول المغذى لنباتات الطماطم لمدة خمسة أيام — وليس لفترة أقل — نقصًا جوهريًّا فى النمو النباتى وصل إلى ٧٠٪ مع ظهور بعض

أعراض النقص بالأوراق، ثم موت النبات بعد اثنى عشر يومًا من ذلك (أى من فترة نقص العنصر لمدة خمسة أيام) حتى ولو تم تصحيح النقص بعد يومين اثنين آخرين. وأظهرت جميع أوراق النبات نقصًا فى العنصر بسبب تحركه نحو القمة النامية؛ بما يعنى أن العنصر يُعد متحركًا جزئيًا. كذلك صاحب نقص الكالسيوم تكوين النبات لثلاث أنواع من البروتينات الدفاعية لم يكن قد سبق عزلها إلاّ فى حالات الدفاع ضد الإصابات المرضية، وهى الـ pothogensis related proteins (أو PRP) أرقام ١، و٣، و٧ (Baboulène وآخرون ٢٠٠٧).

ويعالج نقص الكالسيوم بإضافة العنصر إلى التربة، أو عن طريق الأوراق؛ فيضاف الكالسيوم إلى التربة عند استخدام الجير فى رفع pH التربة، أو عند استخدام نترات الكالسيوم أو السوبرفوسفات كأسمدة، ولكن يمكن أيضًا إضافة الكالسيوم رشًا، أو مع ماء الرى بأحد المركبين التاليين:

١- كلوريد الكالسيوم (٣٦,١٪ Ca) بتركيز ٢,٥ — ٥ كجم/٤٠٠ لتر ماء للفدان.

٢- نترات الكالسيوم (٢٠٪ Ca) بتركيز ٢,٥ — ٨ كجم/٤٠٠ لتر ماء للفدان.

انتقال الكالسيوم فى النبات

يكون انتقال الكالسيوم فى معظم الأنواع المحصولية — فى صورته الأيونية Ca^{2+}— من خلال الجدر الخلوية apoplast، حيث يسلك الجزء الأكبر منه هذا المسار فى الانتقال من نسيج لآخر، على الرغم من أن تلك النظرية أصبحت تواجَه بتحديات متزايدة. ومن المسلم به أن الانتقال خلال الجدر الخلوية يرتبط ارتباطًا قويًا بمعدل النتح. وما أن يصل الكالسيوم إلى الفجوات العصارية، فإنه نادرًا ما يُعاد توزيعه؛ مما يؤدى إلى تزايد تركيز العنصر فى الأعضاء كثيرة النتح. هذا .. إلا أن تدفق الماء ذاته يُنظَّم فى النبات بأيون الكالسيوم فى كل من: الجدر الخلوية من خلال تأثيره على

بنائها وانفتاح الثغور، وداخل السيتوبلازم symplast من خلال تنظيم الكالسيوم لفتح الممرات المائية aquaporins، وهي التي تنظِّم التدفق من خلال الأغشية (عن Gilliham وآخرين ٢٠١١).

ولا يكون توزيع الكالسيوم متجانسًا في النبات؛ لأنه ينتقل مع مسار الماء الذي يفقد في عملية النتح؛ وبذا .. يزداد تركيزه في الأوراق النشطة في عملية النتح (عن Palzkill & Tibbitts ١٩٧٧). كما يثبت العنصر في صورة ذائبة بمجرد وصوله إلى الأوراق التي ينتهي مساره إليها؛ ولذا .. يكثر ظهور أعراض نقص العنصر في القمم النامية، والأوراق المغطاة بأوراق غيرها، وفي الثمار وأعضاء التخزين.

وقد انتقل أكثر من ٩٥٪ من الماء الممتص في الطماطم إلى النموات الخضرية خلال فترة النهار التي امتدت لاثنتي عشرة ساعة، بينما لم تنتقل سوى كميات ضئيلة خلال الليل. وقد ساعدت زيادة الرطوبة النسبية ليلاً في زيادة تدفق الماء الممتص أثناء الليل كثيرًا؛ الأمر الذي يُفترض أنه حدث بسبب زيادة الضغط الجذري في تلك الظروف. هذا .. إلاّ أن الرطوبة النسبية العالية ليلاً قللت من توزيع الكالسيوم، مقارنة بتوزيعه عندما كانت الرطوبة النسبية منخفضة ليلاً (Choi وآخرون ١٩٩٩).

تيسر الكالسيوم في التربة

يتوفر الكالسيوم في التربة في pH أعلى من ٧، ويقل نسبيًا في pH من ٥,٥ — ٧، ويصبح النقص شديدًا في pH أقل من ٥,٥.

والكالسيوم هو الكاتيون السائد في معظم الأراضي، ويشكل — عادة — أكبر نسبة من الكاتيونات المتبادلة، ولكنه يفقد — بسهولة — بالرشح؛ حيث يحل الأيدروجين محله في غرويات التربة، ويؤدي ذلك إلى زيادة حموضة التربة.

والجزء الأكبر من الكالسيوم الموجود في التربة يوجد في صورة غير متبادلة؛ فيوجد متحدًا كيميائيًّا مع عناصر أخرى في تركيب بعض المعادن كالأنورثيت anorthite ($CaAl_2Si_2O_8$) وفي الكالسيت Calcite ($CaCO_3$) في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. ويكثر فوسفات الكالسيوم الثلاثي — غير القابل للذوبان – في الأراضي القلوية.

المغنيسيوم

دور المغنيسيوم في النبات

يعد المغنيسيوم عنصرًا ضروريًّا لتكوين جزئ الكلوروفيل؛ حيث يدخل في تركيب كل من كلوروفيل أ، ب؛ لذلك فهو أساسي لعملية البناء الضوئي. كما أن بكتات المغنيسيوم تشترك مع بكتات الكالسيوم في لصق ألياف السليلوز عند بناء جدر الخلايا؛ لذلك فهو ضروري لعملية انقسام الخلايا.

ويعمل المغنيسيوم كعامل منشط لعديد من الإنزيمات الهامة في تحولات التمثيل الغذائي للمواد الكربوهيدراتية. كما يعمل كمنشط للإنزيمات التي تشترك في تمثيل الأحماض النووية DNA و RNA. ويبدو أنه يقوم بدور هام كعامل لاصق للميكروسومات microsomes التي يتم عليها تمثيل البروتين. ويُمتص العنصر في صورة أيون المغنيسيوم Mg^{++}.

أعراض نقص المغنيسيوم

عند نقص المغنيسيوم في التربة نجد أن العنصر ينتقل من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة؛ لذا تظهر أعراض نقصه على الأوراق المسنة أولاً. وفي الحالات الشديدة تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة أيضًا.

وتكون الأعراض في شكل تبقعات صفرات مبرقشة تنتشر في الورقة، وخاصة في الأوراق المسنة، كما تظهر بقع بنية على حواف وقمم الأوراق. وفي الصليبيات تأخذ الأوراق مظهرًا براقًا.

وفى معظم النباتات يظهر اصفرار بين العروق فى الأوراق المسنة، ثم يتغير لونها تدريجيًا من الأخضر الداكن إلى الأخضر المصفر، فالأصفر، بينما تبقى العروق خضراء اللون. وتبدأ هذه الأعراض من حواف الورقة، ثم تتجه تدريجيًا نحو مركزها. ومع ازدياد نقص العنصر تتحول الأجزاء الصفراء إلى اللون البنى، ثم تموت هذه الأنسجة.

وتقسم الخضراوات حسب مقدرتها على تحمل نقص المغنيسيوم فى التربة إلى مجموعتين كالتالى:

١- خضراوات تتحمل نقص المغنيسيوم فى التربة؛ ومنها: الفاصوليا، والبنجر، والسلق، والخس، والبسلة، والفجل، والبطاطا، وفول الصويا.

٢- خضراوات لا تتحمل نقص المغنيسيوم فى التربة؛ ومنها: الكرنب، والذرة السكرية، والخيار، والباذنجان، والقاوون، والفلفل، والبطاطس، والقرع العسلى، والروتاباجا، والطماطم، والبطيخ.

وتظهر أعراض نقص المغنيسيوم — غالبًا — عندما ينخفض تركيزه فى الأوراق عن ٠,٢٪ على أساس الوزن الجاف، علمًا بان المدى الطبيعى لتركيز العنصر — على أساس الوزن الجاف — يتراوح بين ٠,٣٪ و٠,٨٪.

وتكون هناك حاجة للتسميد بالمغنيسيوم فى أى من الحالات التالية:

١- عندما يقل مستوى المغنيسيوم المتبادل عن ٧٧ كجم/ فدان.

٢- عندما يزيد البوتاسيوم على المغنيسيوم كنسبة مئوية من الكاتيونات الكلية المتبادلة (وهى الكالسيوم + المغنيسيوم + البوتاسيوم مُعبرًا عنها كمكافئات كيميائية).

٣- عندما يقل مستوى المغنيسيوم فى التربة عن ٣٪ من الكاتيونات الكلية.

وإلى جانب التسميد الأرضى بسلفات المغنيسيوم، فإنه يمكن التسميد بالرش الورقى باستعمال ٥ — ١٠ كجم من سلفات المغنيسيوم (أملاح إبسوم Epsom salts)/فدان فى

ما لا يقل عن ١٢٠ لتر ماء. ويعني ذلك المعاملة بنحو ٠,٥ — ١,٠ كجم من المغنيسيوم/فدان (Warncke وآخرون ١٩٩٢).

تيسر المغنيسيوم في التربة

يتوفر المغنيسيوم في مدى pH من ٧ — ٨,٥، ويقل قليلاً في الأراضي الأكثر قلوية من ذلك، كما يقل نسبيًا في مدى pH من ٥,٥– ٧، ويصبح النقص شديدًا في الأراضي التي يقل فيها الـ pH عن ٥,٥.

وأفقر الأراضي في المغنيسيوم هي الرملية الخفيفة، ولكن أعراض نقص العنصر تظهر أيضًا في الأراضي الشديدة الحموضة، بغض النظر عن قوامها.

يوجد المغنيسيوم في التربة في صورة مثبتة، وفي صورة ذائبة في الماء، وفي صورة متبادلة. وتقل كميته في التربة كثيرًا عن الكالسيوم، سواء بالنسبة للصور المثبتة، أم الذائبة، أم المتبادلة.

ويؤدي التسميد البوتاسي الغزير إلى نقص امتصاص النبات للمغنيسيوم، وتظهر أعراض نقصه، ولكن إضافة الجير إلى الأراضي الحامضية تؤدي غالبًا إلى زيادة المغنيسيوم الميسر للامتصاص بها. كذلك فإن زيادة الكالسيوم في المزارع المائية تؤدي إلى ظهور أعراض نقص المغنيسيوم.

ويعالج نقص المغنيسيوم في التربة بالتسميد بإحدى الطرق التالية:

١– إضافة الحجر الجيري الدولوميتي (كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم) dolomitic limestone (في الأراضي الحامضية) بمعدل ١٠ — ١٥ كجم من المغنيسيوم (Mg) أو ١٨– ٢٥ كجم من أكسيد المغنيسيوم (MgO) للفدان.

٢– إضافة كبريتات المغنيسيوم Epson Salt ($MgSO_4.7H_2O$) المحتوية على ٩,٨٪ مغنيسيوم، بمعدل ٧٠ — ٩٠ كجم للفدان.

٣- الرش بكبريتات المغنيسيوم بمعدل ٥ — ٧ كجم/٤٠٠ لتر ماء للفدان.

٤- الرش بنترات المغنيسيوم.

الكبريت

دور الكبريت فى النبات

يدخل الكبريت فى تركيب ثلاثة أحماض أمينية أساسية؛ هى: السيستين cysteine، والسيستاين Cystine، والميثايونين methionine، كما يدخل فى تركيب الثيامين thiamin (فيتامين ب$_1$)، وهو مرافق إنزيمى ضرورى فى عملية التنفس. ويوجد الكبريت أيضًا فى تركيب الفيتامين بيوتين biotin، وفى المرافق الإنزيمى Coenzyme A.

والكبريت عنصر أساسى فى تركيب بعض المواد الطيارة التى تعطى الطعم والنكهة المميزين لبعض الخضراوات؛ مثل: البصل، والثوم، والصليبيات.

هذا .. ويمتص الكبريت فى صورة أيون الكبريتات SO_4^{--} فقط.

أعراض نقص الكبريت

نادرًا ما تظهر أعراض نقص الكبريت لتوفره فى الأسمدة المختلفة، فضلاً على أن العنصر نفسه يستعمل فى مكافحة كثير من الأمراض الفطرية. وتتشابه أعراض نقص الكبريت مع أعراض نقص الآزوت، إلا أن الأعراض تظهر على الأوراق الحديثة أولاً. أما الآزوت، فتظهر أعراض نقصه على الأوراق الكبيرة أولاً؛ ويرجع ذلك إلى أن الكبريت لا ينتقل فى النبات بسرعة.

وتتميز أعراض نقص الكبريت باصفرار الأوراق الحديثة. ويكون الاصفرار أكثر وضوحًا فى العروق منه بين العروق، وذلك عكس الحالة فى كل من أعراض نقص المغنيسيوم، والمنجنيز، والحديد.

وتعد نسبة النيتروجين إلى الكبريت فى النبات مقياسًا أفضل لمدى كفاية الكبريت عن كمية الكبريت الكلية.

تيسر الكبريت فى التربة

يتيسر الكبريت فى الأراضى التى يزيد فيها الـ pH عن ٦، ويقل نسبيًا فى pH ٥–٦، ويصبح النقص شديدًا فى pH أقل من ٥. فأيون الكبريتات — مثله مثل أيون الفوسفات — يدمص بقلة على غرويات التربة. ويزداد ادمصاصه مع انخفاض pH التربة.

ومن المعتقد أنه يحل محل أيون الأيدروكسيل على حبيبات الطين. وتسمى تلك الظاهرة بـ "ظاهرة التبادل الأنيونى anion exchange"؛ وعليه .. فإن عملية إضافة الجير التى تزيد من قلوية التربة تقلل من ادمصاص هذا العنصر.

وأهم مصادر الكبريت للنبات هو ما يوجد فى المادة العضوية، وفى الهواء الجوى (حيث يسقط مع ماء المطر)، بالإضافة إلى ما يوجد فى الأسمدة الكيميائية المضافة.

ويوجد الكبريت فى المادة العضوية فى صورة مواد بروتينية. ولكى يستطيع النبات استعماله يجب أن يتحول إلى أيون كبريتات أولاً. وتقوم الكائنات الدقيقة فى التربة بذلك؛ حيث تحول المادة العضوية المحتوية على الكبريت إلى مركبات عديدة؛ منها الـ hydrogen sulfide (H_2S) الذى يتأكسد، معطيًا حامض الكبريتيك الذى يتفاعل بدوره مع معادن التربة فى المحلول الأرضى، مكونًا أملاح الكبريتات.

أما الكبريت الموجود فى الهواء، فإنه ينتج من احتراق الفحم، كما يوجد فى الأبخرة المتصاعدة فى عديد من المصانع، ويصل إلى الأرض بعد ذوبانه فى ماء المطر، ثم يتأكسد إلى SO_4، ثم إلى SO_3 الذى يتفاعل مع الماء، معطيًا حامض الكبريتيك الذى يتفاعل بدوره مع معادن التربة، مكونًا أملاح الكبريتات. وفى المناطق الصناعية تصل إلى التربة كميات كبيرة من الكبريت بهذه الطريقة.

أما الأسمدة المحتوية على الكبريت، فهى عديدة، ومنها: الكبريت الخام، وكبريتات الأمونيوم، وكبريتات البوتاسيوم، والجبس، والسوبر فوسفات الذى يحتوى على كبريتات الكالسيوم. هذا .. ويتأكسد الكبريت المعدنى إلى كبريتات قبل أن يستطيع النبات استعماله.

الحديد

دور الحديد فى النبات

يعتبر الحديد عنصرًا أساسيًّا لتكوين جزئ الكلوروفيل، برغم أنه لا يدخل فى تركيبه، ولكن يبدو أن الحديد يلعب دورًا هامًّا فى تكوين الإنزيمات المسئولة عن تمثيل الكلوروفيل. كما أن الحديد يدخل فى تركيب عديد من الإنزيمات اللازمة فى عملية التنفس؛ ومن أمثلتها: الكاتاليز، والبيروكسيديز، وأكسيديز السيتوكروم، والستيروكروم، بالإضافة إلى دخول الحديد فى تركيب جزئ صبغة الهيم heme، وهى الصبغة الضرورية فى المراحل الأخيرة من التنفس.

ويمتص النبات الحديد فى صورة أيون الحديديك غالبًا، ولكن الصورة النشطة بيولوجيا فى النبات هى صورة أيون الحديدوز؛ وعليه .. فإنه بعد امتصاصه يتحول أولاً إلى حديدوز قبل أن يستفيد منه النبات.

أعراض نقص الحديد

يعتبر الحديد من أقل العناصر قدرة على التحرك داخل النبات؛ لذلك تظهر أعراض نقصه على الأوراق الحديثة، بينما تظل الأوراق المسنة خضراء وذات محتوى عالٍ من الحديد.

ويتميز نقص العنصر بظهور لون أصفر بين العروق فى أوراق النموات الحديثة. ونادرًا ما تصبح الأوراق الحديثة كلها صفراء، ولكن قد يحدث ذلك فى الأوراق الصغيرة جدًا فى حالات النقص الشديدة. ومع استمرار نقص العنصر يتحول لون الأنسجة بين

العروق إلى اللون الأبيض العاجى، بينما تظل العروق خضراء اللون.

ويبلغ التركيز الطبيعى للحديد فى أنسجة الورقة حوالى ١٠٠ جزء فى المليون على أساس الوزن الجاف، ولكن المدى الطبيعى لتركيز الحديد يتباين كثيرًا من محصول لآخر.

تكون أعراض نقص الحديد على صورة اصفرار واضح بين العروق كما أسلفنا. وفى وحيدات الفلقة — مثل الذرة — فإن ذلك الاصفرار بين العروق يكسب الأوراق مظهرًا مخططًا. وفى حالات النقص الشديدة فإن النبات كله قد يُصبح بلون أصفر باهت، أو حتى أبيض (Follett & Westfall ٢٠٠٦).

لا يُعاد تحرك الحديد — كما أسلفنا — من الأوراق المكتملة النمو التى تحتوى على تركيزات مناسبة من العنصر إلى الأوراق الحديثة إلاّ بقدر يسير حتى فى ظروف النقص الشديد للحديد، لكن ذلك التحرك قد يزداد كثير أثناء شيخوخة الأوراق السفلى (Zhang وآخرون ١٩٩٥).

وغالبًا ما يزيد تركيز الأحماض العضوية كلما ازداد نقص الحديد فى مختلف الأعضاء النباتية، مثل الجذور والأوراق والسيقان. وللتفاصيل المتعلقة بهذا الموضوع .. يراجع Abadia وآخرين (٢٠٠٢).

تيسر الحديد فى التربة

يتوفر الحديد فى الأراضى التى يقل فيها الـ pH عن ٦، ويقل نسبيًا فى pH ٦— ٧، ولكن يصبح النقص شديدًا عند زيادة الـ pH عن ٧. ويزداد الحديد فى الأراضى الحامضية إلى درجة أن تركيزه يصبح سامًا للنبات فى الأراضى الشديدة الحموضة. وأفضل pH يتوفر فيه الحديد بتركيزات مناسبة هو من ٥,٥— ٦,٢. ويزداد تيسر الحديد — بالاختزال — عند سوء الصرف بالتربة، ولكن ذلك لا يناسب النمو النباتى.

وتجدر ملاحظة أن التسميد بكميات كبيرة من الفوسفات الذائبة يؤدى إلى تحول الحديد الذائب إلى صورة غير قابلة للذوبان بسبب اتحاد الحديد مع أيون الفوسفات، مكونًا فوسفات الحديد.

وتزداد هذه الظاهرة فى الأراضى الرملية عنها فى الأراضى الطينية؛ لأن الأراضى الرملية أقل قدرة على تثبيت الفوسفات من الأراضى الطينية. كذلك تظهر أعراض نقص الحديد عند زيادة التسميد بالنحاس والمنجنيز.

والحديد من العناصر التى تتوفر فى التربة بكميات كبيرة، إلا أن ذلك يكون فى الصور غير القابلة للذوبان، ونسبة الذائب أو المتبادل منخفضة جدًّا فى التربة، خاصة فى الأراضى المتعادلة والقلوية التى يقل فيها ذوبان الحديد بمقدار ١٠٠ مرة مع كل ارتفاع قدره وحدة واحدة فى pH التربة.

تظهر أعراض نقص الحديد — عادة — فى مساحات غير منتظمة الشكل من الحقل تكون — غالبًا — عالية فى الـ pH أو فى محتواها من كربونات الكالسيوم، كما يرتبط نقص الحديد بانخفاض محتوى التربة من المادة العضوية، وبالحالات التى تُزال فيها الطبقة السطحية من التربة؛ بفعل عمليات التسوية أو التعرية. كذلك تزداد احتمالات ظهور أعراض نقص العنصر فى المواسم الباردة والتربة الرطبة عما فى المواسم الدافئة والتربة الأقل رطوبة، وتكون الأعراض أكثر حدة — عادة — على البادرات الصغيرة (Follett & Westfall ٢٠٠٦).

ونادرًا ما يعطى التسميد بالحديد — عن طريق التربة — نتائج ملموسة، لكن رش الأوراق يعطى نتائج إيجابية مؤقتة؛ حيث تزول أعراض نقص العنصر.

ويعالج نقص الحديد بأحد الأسمدة التالية:

١- كبريتات الحديدوز Ferrus sulfate (٢٠٪ حديد $FeSO_4.7H_2O$)، بمعدل ٥-١٠ كجم/فدان للتربة، أو رشًا بتركيز ١-١,٥ كجم/٤٠٠ لتر ماء للفدان.

٢- الحديد المخلبى (مشتقات ethylenediamine tetraacetic acid، وتحوى حديدًا بنسبة ٩٪-١٢٪)، بمعدل ٨-١٦ كجم/فدان للتربة، ورشًا بتركيز ٣٥٠-٤٥٠ جم/٤٠٠ لتر ماء. ويجب ألا تتعدى الكمية التى تستعمل للفدان من هذه المادة أكثر من ٤٠٠ لتر من محلول الرش، ويرمز لتلك المادة بالرمز EDTA.

ومن الصور المخلبية أيضًا: diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA).

وهذه المركبات المخلبية تحفظ الحديد فى صورة ميسرة لامتصاص النبات، وتسهل امتصاصه وانتقاله فى النبات، كما أنها لا تتحلل فى التربة.

وغالبًا ما تُعانى النباتات النامية فى الأراضى الجيرية الغنية بكربونات الكالسيوم من أعراض نقص الحديد — وكذلك المنجنيز والزنك — بسبب قلة الصور الميسرة للامتصاص من تلك العناصر فى هذه الأراضى، فضلاً عن أن الكميات المدمصة من هذه العناصر تكون أقل قدرة على الحركة، ويكون انتقالها إلى الأجزاء العليا من النباتات بطيئًا (Balba ١٩٩٥).

النحاس

دور النحاس فى النبات

يدخل النحاس فى تكوين بعض الإنزيمات التى تلعب دورًا هامًّا فى تفاعلات الأكسدة والاختزال فى النبات. فهو يدخل فى تركيب إنزيمات الفينوليز phenolases واللاكّيز laccase. ويعتبر النحاس عنصرًا ضروريًّا لتكوين الكلوروفيل فى النبات، وربما يكون له دور فى عملية البناء الضوئى.

كما يدخل النحاس فى تركيب إنزيم التيروزينيز tyrosinase، وهو المسئول عن تلون لب درنات البطاطس باللون الداكن فى وجود الأكسجين، وفى تركيب إنزيم أكسيديز حامض الأسكوربيك ascorbic acid oxidase، وهو المسئول عن أكسدة حامض الأسكوربيك.

ويمتص النبات العنصر في صورته الأيونية.

أعراض نقص النحاس

يصاحب نقص عنصر النحاس ظهور لون أصفر شاحب وباهت بالأوراق، يعقبه فقدان اللون الأخضر كلية في قمة الأوراق. وتظهر الأعراض — كاحتراق واسمرار (انسفاع) Scalding — خاصة في الأيام الحارة. هذا.. وتكون الأوراق مرتخية، ويكون النمو بطيئًا.

وفي البصل يصاحب نقص العنصر بهتان لون الحراشيف الخارجية للأبصال ونقص سمكها، وسهولة انفصالها.

وأكثر الخضر حساسية لنقص النحاس هي: البنجر، والجزر، والخس، والبصل، والسبانخ، وهي الخضر التي تستجيب بدرجة عالية للتسميد بالنحاس.

تحتوي الأوراق الطبيعية على ما لا يقل عن ٦ أجزاء في المليون من النحاس على أساس الوزن الجاف.

أضرار زيادة تركيز النحاس الميسر للامتصاص

أدت زيادة تركيز النحاس في المحلول المغذي لنباتات الطماطم من ٠,٠٥ إلى ٣٥ مللي مولار إلى تراكم العنصر في النبات وبخاصة في الجذور مع التأثير سلبيًا على امتصاص العناصر، حيث انخفض تركيز الكالسيوم والحديد والزنك، وبخاصة في النموات الخضرية، بينما كان الانخفاض في الجذور قاصرًا على الحديد والزنك؛ مما يدل على تأثير زيادة النحاس سلبيًا على كل من امتصاص وانتقال تلك العناصر. كذلك صاحبت زيادة تركيز النحاس زيادة مؤقتة في نشاط الإنزيمات guaiacol peroxidases، وcatalase، وpolyphenol oxidase — ربما كاستجابة مبكرة ضد الشدّ التأكسدي الذي أحدثته زيادة تركيز النحاس، إلاّ أن ذلك النشاط الدفاعي سرعان ما، توقف مع استمرار زيادة تركيز النحاس (Martins & Mourato ٢٠٠٦).

تيسر النحاس فى التربة

يتوفر النحاس فى الأراضى التى يقل فيها الـ pH عن ٧، ويقل نسبيًا فى pH ٧-٨، ويصبح النقص شديدًا فى pH أعلى من ٨.

وتظهر أعراض نقص العنصر غالبًا فى الأراضى الغنية بالمادة العضوية. ومن المعتقد أن النحاس يتحول بفعل المادة العضوية إلى صورة غير قابلة للذوبان؛ إذ إنه يثبت فى الأراضى العضوية بواسطة بعض كائنات التربة الدقيقة. كذلك تظهر أعراض نقص العنصر فى الأراضى الحامضية (pH أقل من ٥,٥) والرملية.

ويوجد النحاس بكميات كبيرة مثبتًا فى صخور التربة، ولا يوجد منه سوى القليل جدًا ذائبًا فى المحلول الأرضى. ويقدر تركيزه فى الأراضى العادية بـ ٠,٠١ جزءًا فى المليون بالمحلول الأرضى. ويدمص أيون النحاس (Cu^{++}) بشدة على غرويات التربة، كما قد تدمص أيضًا الكاتيونات ذات الشحنة الواحدة، مثل: $CuOH^+$، و$CuCl^+$.

وبالإضافة إلى ذلك.. يوجد النحاس فى المادة العضوية فى التربة، كما قد يتحد معها، مكونًا مركبات معقدة غير متبادلة.

ويعالج نقص النحاس فى التربة بإحدى المعاملتين التاليتين:

١- كبريتات النحاس (٢٥,٥٪ Cu فى $CuSO_4.5H_2O$)، بمعدل ١١-٢٢ كجم/فدان للتربة، أو رشا بتركيز ٠,٩ -٢,٢٥ كجم/٤٠٠ لر ماء.

٢- أكسيد نحاس (يحوى ٧٩,٦٪ Cu فى CuO)، بمعدل ٣,٥ - ٧ كجم/فدان للتربة، ولا يستعمل رشا لضعف مقدرته على الذوبان.

وغالبًا ما يكفى التسميد به مرة واحدة لسد النقص فى التربة لعدة سنوات.

الزنك

دور الزنك فى النبات

يعد الزنك عنصرًا ضروريًا لتكوين التربتوفان tryptophane، وهو الحامض الأمينى الذى يتكون منه إندول حامض الخليك IAA، كما يدخل الزنك فى تركيب كل من: glycol-glycine dipetidases الضرورية فى تمثيل البروتينات، والـ dehydrogenases الضرورية للـ glycolysis فى المراحل النهائية من التنفس، كما أن الزنك ضرورى لتكوين جزئ الكلوروفيل.

ويمتص النبات الزنك فى صورة أيون العنصر.

أعراض نقص الزنك

تظهر أعراض نقص الزنك على الأوراق الحديثة أولاً؛ حيث يؤدى نقصه إلى ظهور تبرقش أصفر بين العروق فى الورقة، وتظل العروق خضراء، وتكون الأوراق صغيرة، وضيقة، ومبرقشة، ومشوهة، وغير منتظمة الشكل، وملتوية، ومتزاحمة على أفرع قصيرة؛ فتأخذ شكلاً متوردًا rosette.

كذلك تصبح السلاميات قصيرة، ويبدو النبات متقزمًا فى حالات النقص الشديدة، ولذلك علاقة بتمثيل الأوكسين IAA.

وتتباين أعراض نقص الزنك باختلاف المحصول، فمثلاً .. تظهر بأوراق الذرة التى تعانى من نقص الزنك شريطًا أبيض اللون إلى شفانى على جانبى العرق الوسطى للورقة، يبدأ ظهوره من قاعدتها، ولا يصل إلى قمتها، بينما يبقى العرق الوسطى وحواف الورقة خضراء اللون. وقد تظهر — أحيانًا — مسحة حمراء بنية فى أنسجة الورقة البيضاء.

وعمومًا .. تكون النباتات التى تعانى من نقص الزنك متقزمة؛ بسبب قصر سلامياتها . وفى الفاصوليا يظهر اصفرار عام بالأوراق العليا، مع مسحة بنية أو بروتزية

بالأوراق المسنة السفلية، كما تكون الأوراق متجعدة وملتفة إلى أسفل، ويقل فيها عقد القرون (Follett & Westfall ٢٠٠٦).

وفى النباتات المعمرة تموت الأفرع التى تظهر بها أعراض النقص من القمة نحو القاعدة dieback، ويقل محصول البذور، ولذلك أهمية كبيرة فى البقوليات، كما تظهر بقع بنية ضاربة إلى الحمرة على الأوراق الفلقية فى الفاصوليا. وفى البنجر يظهر لون اصفر بين العروق، وتحترق حواف الأوراق. وفى الذرة السكرية تظهر خطوط خضراء وصفراء عريضة عند قواعد الأوراق، وتتأخر الحريرة فى الظهور، ويصاحب ذلك عدم امتلاء الكيزان جيدًا.

وأكثر الخضراوات استجابة للتسميد بالزنك هى: الذرة السكرية، والفاصوليا، وفاصوليا الليما، بينما تعد الطماطم، والبطاطس، والبصل متوسطة الحساسية. وبالمقارنة .. تعد البسلة، والأسبرجس، والجزر قليلة الحساسية لنقص العنصر.

وتحتوى الأوراق الطبيعية على الزنك بتركيز ٢٠ جزءًا فى المليون على أساس الوزن الجاف.

تيسر الزنك فى التربة

تكون مشكلة نقص الزنك أكثر حدة فى الحالات التى تُزال فيها الطبقة السطحية من التربة، كما يحدث بعد عمليات التسوية أو عند تعرض التربة للتعرية بفعل الرياح. وعادة ما تكون التربة الفقيرة فى الزنك فقيرة — كذلك — فى المادة العضوية، وقد تكون رملية أو ذات pH أعلى من ٧,٠. وقد تؤدى زيادة التسميد بالفوسفور إلى ظهور أعراض نقص الزنك عندما تكون التربة فقيرة — أصلاً — فى هذا العنصر. ويزداد ظهور أعراض نقص الزنك فى المواسم الباردة والتربة الزائدة الرطوبة عما فى المواسم الحارة والتربة الأقل رطوبة (Follett & Westfall ٢٠٠٦).

يتوفر الزنك فى الأراضى التى يقل فيها الـ pH عن ٧، ويقل نسبيًا فى pH من ٧–٨، ويكون النقص شديدًا عند زيادة pH التربة عن ٨.

هذا .. ويثبت الزنك بسهولة بواسطة غرويات التربة. وتركيز العنصر في المحلول الأرضى منخفض جدًا. ويقل التركيز بزيادة pH التربة. والمدى المناسب لتركيز الزنك فى المحلول الأرضى هو ١- ١٠ أجزاء فى المليون، وأفضل تركيز ٥ أجزاء فى المليون.

وقد يثبت الزنك بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة فى التربة.

كما تظهر أعراض نقص الزنك فى حالات التسميد الغزير بالفوسفور.

ويعالج نقص الزنك بالتسميد بأحد المركبات التالية:

١- كبريتات الزنك Zinc sulphate (تحتوى على ٧٪ زنكًا، وتركيبها $ZnSO_4.7H_2O$)، بمعدل ٤,٥-١٨ كجم/فدان للتربة، أو رشا بتركيز ٠,٩- ١,٨ كجم/٤٠٠ لتر ماء.

٢- الزنك المخلبى (مشتقات ethylenediamine tetraacetic acid)، بمعدل ٧- ١٨ كجم/فدان للتربة، أو رشا بتركيز ٣٥٠- ٤٥٠ جم/٤٠٠ لتر ماء.

المنجنيز

دور المنجنيز

يعد المنجنيز عنصرًا ضروريًا لتكوين الكلوروفيل برغم أنه لا يدخل فى تركيب جزئ الكلوروفيل، ويدخل — مثل الحديد — فى تركيب عديد من الإنزيمات الهامة التى تدخل فى تفاعلات الأكسدة والاختزال. فهو يعمل كمنشط إنزيمى فى عمليات التنفس وتمثيل البروتين، ومع ذلك .. ففى كثير من التفاعلات — خاصة تفاعلات التنفس — يمكن أن تحل الكاتيونات الثنائية الشحنة الأخرى؛ مثل: Mg^{++}، وCa^{+})، وZn^{++}، وFe^{++} محل كاتيون المنجنيز، خاصة المغنيسيوم الذى يحل غالبًا محل المنجنيز.

ويعد المنجنيز ضروريًا وأساسيًا لعمل إنزيمات أخرى كثيرة؛ مثل: إنزيمات malic dehydrogenase، وoxalsuccinic dehydrogenase، وكلاهما من

إنزيمات دورة كربس Krebs cycle. ويمكن أن يحل الكوبالت جزئيًّا محل المنجنيز بالنسبة لهذين الإنزيمين.

ويعمل المنجنيز كمنشط لإنزيمات تمثيل البروتين nitrate reductase، و hydroxylamine reductase، كما أنه يلعب دورًا في أكسدة إندول حمض الخليك IAA في النبات.

ويعد المنجنيز منشطًا لواحد أو أكثر من الإنزيمات المسئولة عن تمثيل الدهون، والإنزيمات التي تدخل في تكوين الحامضين النوويين DNA، و RNA (عن Resh ١٩٨٥).

ويمتص المنجنيز في صورة أيون العنصر.

أعراض نقص المنجنيز

يعتبر المنجنيز من العناصر القليلة التحرك نسبيًّا في النبات؛ لذلك تظهر أعراض نقصه على الأوراق الحديثة أولاً. وتتشابه أعراض نقص المنجنيز مع أعراض نقص المغنيسيوم، عدا أن الاصفرار يحدث على الأوراق الحديثة أولاً في حالة نقص المنجنيز، بينما يظهر على الأوراق المسنة أولاً في حالة نقص المغنيسيوم.

وتتميز الأعراض باصفرار الأنسجة بين العروق في الورقة على صورة تبرقش خفيف في البداية، ثم يأخذ نصل الورقة لونًا باهتًا مع استمرار نقص العنصر، وتظهر بقع ميتة متحللة صغيرة على امتداد وسط الورقة، وتظل العروق خضراء، وفي حالات النقص الشديدة تمتد الأعراض إلى الأوراق المسنة أيضًا.

ومن أعراض نقص العنصر أيضًا: ظهور بقع متحللة بنية في الأوراق الفلقية للبسلة والفاصوليا. وفي الذرة السكرية والبصل تظهر خطوط مصفرة على الأوراق. وفي البنجر يكتسب النمو الخضري لونًا أحمر داكنًا.

وأكثر الخضراوات احتياجًا إلى التسميد بالمنجنيز هي: الفاصوليا، والخس، والبصل، والبسلة، والبطاطس، والفجل، والسبانخ، والطماطم، والبنجر. وتحت الظروف المصرية تظهر أعراض نقص العنصر بوضوح على الفاصوليا.

وتظهر أعراض نقص المنجنيز عندما ينخفض تركيزه في أنسجة الأوراق عن ٥٠ جزءًا في المليون على أساس الوزن الجاف، ولكن مدى التركيز الطبيعي يتباين — كثيرًا — من محصول لآخر.

تيسر المنجنيز في التربة

يتوفر المنجنيز في الأراضي التي يقل فيها الـ pH عن ٦,٥، ويقل نسبيًا في pH ٦,٥–٧، ويصبح النقص شديدًا عند زيادة الـ pH عن ٧. وأفضل pH يتوفر فيه العنصر بكميات مناسبة هو من ٥,٥– ٦,٢.

يوجد المنجنيز في التربة في الصور الأيونية الثنائية، والثلاثية، والرباعية الشحنة. والصورة الثنائية الشحنة توجد ذائبة في المحلول الأرضي، أو في صورة كاتيون مدمص على سطح حبيبات التربة، وكلاهما ميسر لامتصاص النباتات. والصورة المتبادلة مهمة جدًا في تغذية النبات؛ لأن تركيز العنصر في المحلول الأرضي منخفض للغاية. وبالإضافة إلى ذلك .. فإن المنجنيز يوجد بحالة مثبتة في التربة في الصورتين الثلاثية الشحنة والرباعية الشحنة، وبدرجة قليلة نسبيًّا في صورته الثنائية الشحنة. ومعظم المنجنيز المثبت يوجد في الصورة الثلاثية والرباعية لأكسيد المنجنيز.

وحيث إن الصورة المختزلة (Mn^{++}) هي الصالحة لامتصاص النبات؛ لذا نجد أن المنجنيز الميسر يكثر في الأراضي الرديئة الصرف والحامضية؛ حيث تختزل الصور الأخرى إلى هذه الصورة تحت هذه الظروف. وبالعكس.. فإن الأراضي القلوية الجيدة التهوية تشجع أكسدة المنجنيز ويصبح غير ميسر للامتصاص؛ حيث يتكون MnO، وMn_2O_3.

كذلك فإن المنجنيز في صورته العضوية يعتبر غير ميسر لامتصاص النبات. ولبعض الكائنات الدقيقة القدرة على تثبيته وجعله غير ميسر للنبات.

ويعالج نقص المنجنيز باستعمال سماد كبريتات المنجنيز Manganese(ous)sulfate (يحوى ٢٤,٦٪ Mn في صورة $MnSO_4.4H_2O$) بمعدل ٩ – ١٤ كجم/فدان للتربة، ويستعمل الحد الأعلى في الأراضي القلوية التي يزيد فيها الـ pH عن ٧، أو رشا بتركيز ٠,٩– ١,٨ كجم/ ٤٠٠ لتر ماء.

البورون

دور البورون في النبات

من المعتقد أن البورون يلعب دورًا في تكوين الجد الخلوية، وفي انتقال السكريات في النبات. وقد وُجد أن السكر ينتقل بسهولة خلال الأغشية الخلوية بعد اتحاده مع البورون.

كما أن البورون ضروري لانقسام الخلايا، وتكوين اللحاء، وانتقال بعض الهرمونات، وإنبات حبوب اللقاح، وقد يكون له دور في تمثيل الأحماض النووية.

ويمتص النبات البورون في الصور التالية: $B_4O_7^{2-}$، و $H_2BO_3^-$، وHBO_3^{2-}، وBO_3^{3-}.

أعراض نقص البورون

يثبت البورون في الأنسجة التي يصل إليها بعد امتصاصه، ولا يتحرك بعد ذلك، أي إنه عنصر غير متحرك؛ لذلك تظهر أعراض نقصه على الأوراق الحديثة أولاً.

تبدأ أعراض نقص البورون في الظهور بانهيار خلايا الأنسجة الميرستيمية التي تحدث فيها انقسامات نشطة، وهي القمم النامية ومناطق الكامبيوم. وتتأثر الحزم الوعائية بالجذور والسيقان، ويتعطل انتقال الماء فيها؛ فيحدث الذبول الذي يكون غالبًا بداية لظهور أعراض نقص العنصر.

ويكون المحتوى الكربوهيدراتي لجذور وسيقان النباتات التى تعانى نقصًا فى البورون قليلاً؛ وذلك بسبب تعطل انتقال المواد الكربوهيدراتية، وزيادة تركيزها فى الأوراق. وفى حالات النقص الشديدة تموت القمم النامية، وتتشوه الأوراق الحديثة، وتظهر بقع بنية أو سوداء فلينية فى أعضاء التخزين من جذور ودرنات.

ونظرًا لأن حواف الأوراق يحدث بها انقسام أثناء زيادة الأوراق فى المساحة، فإن نقص البورون يؤدى أحيانًا إلى تلون حواف الأوراق باللون الأصفر أو البنى، ولكن الأعراض الأكثر شيوعًا هى التفاف حواف الأوراق الصغيرة، وظهور بقع متحللة بها. وقد يظهر لون أصفر باهت غير منتظم التوزيع على أوراق الخضر الجذرية.

وعمومًا .. يكون حجم النبات الذى يعانى نقص البورون أصغر من الحجم الطبيعى، كما تموت القمم النامية للجذور والسيقان، التى تكون قصيرة وصلبة.

هذا .. ويزداد ظهور أعراض نقص العنصر عند نقص الرطوبة الأرضية، وفى حالات الحرارة المرتفعة، والإضاءة العالية، وهى ظروف لا تشجع على انتقال البورون من الأوراق إلى الأعضاء الأخرى فى النبات.

ويؤدى نقص البورون إلى ظهور بقع بنية أو سوداء فلينية متناثرة على سطح الجذور، أو قريبًا من حلقات النمو فى البنجر. وفى اللفت السويدى تظهر مناطق كبيرة بنية مائية قرب مركز الجذر. وفى القنبيط تتلون الأقراص باللون البنى. وفى البروكولى تتلون البراعم الزهرية باللون البنى، كما تظهر على سيقان القنبيط والبروكولى والكرنب مناطق مائية تتطور فيما بعد إلى شقوق أفقية، وتتجوف السيقان. وتظهر على أعناق أوراق الكرفس من الخارج خطوط بنية متحللة، ومن الداخل تتحلل خلايا البشرة. وفى السلق تظهر أحيانًا خطوط قاتمة اللون، مع تشققات على الناحية الداخلية لأعناق الأوراق.

وتظهر أعراض نقص العنصر عندما ينخفض تركيزه فى الأوراق عن ٣٠ جزءًا فى المليون على أساس الوزن الجاف.

إن ظهور بعض العيوب الفسيولوجية التى ترجع إلى نقص البورون (مثل القلب البنى فى جذور كل من الروتاباجا واللفت والفجل، والساق المجوف فى كل من القنبيط والبروكولى) حتى مع توفر البورون فى التربة يفيد بأن لظهورها علاقة بتحرك البورون فى النبات؛ ذلك لأن توزيع البورون يعتمد على فقد الماء من الأعضاء الهوائية؛ بما يعنى أن العنصر يتحرك — أساسًا — فى نسيج الخشب، مع تحرك محدود فى اللحاء. وقد تبين بالبحث أن البورون يتواجد بتركيزات منخفضة فى اللحاء؛ ولهذا علاقة بسد حاجة أعضاء التخزين الأرضية التى لا تنتح (Shelp وآخرون ١٩٩٥).

أعراض التسمم بالبورون

تظهر أعراض التسمم بالبورون على النباتات الحساسة، ويحدث ذلك — غالبًا — فى المناطق القاحلة التى تكون تربتها غنية أصلاً بالعنصر بينما لا يحدث فيها غسيل بالمطر أو مياه الرى، وكذلك عند الرى بمياه يزيد فيها تركيز العنصر.

ومن أهم أعراض زيادة العنصر ظهور تحلل لقمة الورقة وحافتها، يكون متبوعًا بتحلل كلى للورقة وموتها، وسبب ذلك أن البورون يُحمل إلى الأوراق مع تيار الماء الذى يفقد بالنتح؛ حيث يتجمع فى نهاية الأمر بين العروق فى قمة الورقة وحوافها.

وقد وجد Francios (١٩٨٩) أن زيادة تركيز البورون عن مستوى معين فى المحاليل المغذية يؤدى إلى انخفاض المحصول على النحو التالى:

محصول الخضر	التركيز المناسب للبورون (جزء فى المليون)	النقص فى المحصول (٪) مع كل زيادة مقدارها جزء واحد فى المليون من البورون
البروكولى	١,٠	١,٨
القنبيط	٤,٠	١,٩
الفجل	١,٠	١,٤
الفاصوليا (القرون)	١,٠	١٢,١
اللوبيا (البذور)	٢,٥	١١,٥

تقسيم محاصيل الخضر حسب تحملها لزيادة تركيز البورون، واحتياجاتها السمادية منه

تقسم الخضراوات حسب احتياجاتها من البورون إلى ثلاث مجموعات كالتالي:

١- خضراوات ذات احتياجات عالية من البورون؛ وهي التي تتحمل تركيزات عالية منه في التربة وماء الري، وتستفيد جيدًا من التسميد بالبورون، ويلزم معها أن يتوفر العنصر في التربة بتركيز يزيد على ٠,٥ جزءًا في المليون؛ وهي مرتبة تنازليًا حسب احتياجاتها من العنصر كالتالي: البنجر — السلق- الخرشوف- الأسبرجس- اللفت- الكرنب- البروكولي- القنبيط - الفجل- كرنب بروكسل- الكرفس- الروتاباجا- فاصوليا الليما- الفلفل.

٢- خضراوات ذات احتياجات متوسطة من البورون ؛ وهي التي تتحمل تركيزات متوسطة منه في التربة وماء الري، ويجب معها أن يكون تركيز العنصر بين ٠,١ — ٠,٥ جزءًا في المليون في المحلول الأرضي، وهي مرتبة تنازليا حسب احتياجاتها للبورون كالتالي: الطماطم — الخس — البطاطا — الجزر — البصل.

٣- خضراوات ذات احتياجات منخفضة من البورون؛ وهي الحساسة لزيادة البورون في التربة وماء الري، ويجب معها ألا يزيد تركيز البورون في المحلول الأرضي على ٠,١ جزءًا في المليون ؛ وهي مرتبة تصاعديًا حسب حساسيتها للبورون كالتالي: الذرة السكرية — البسلة — الفاصوليا — فاصوليا الليما — البطاطس — الطرطوفة — اللوبيا.

ولمزيد من التفاصيل يراجع Purvis & Hanna (١٩٤٠)، وEaton (١٩٤٤).

تيسر البورون في التربة

يتوفر البورون في الأراضي التي يقل الـ pH فيها عن ٧، ويقل البورون نسبيًا في pH ٧- ٧,٥، ويصبح النقص شديدًا في pH ٧,٥- ٨,٥، إلا أن البورون الميسر يزداد مرة أخرى في الأراضي التي يزيد الـ pH فيها على ٨,٥.

تظهر أعراض نقص العنصر بصفة خاصة في الأراضي الرملية التي تزرع سنويًا، وكذلك في الأراضي القلوية والعضوية.

ويعتبر تركيز البورون في المحلول الأرضي منخفضًا جدًا، ويقل بدرجة أكبر في الأراضي القلوية. وأفضل تركيز للبورون في محلول التربة هو ٠,١ - ١,٠ جزء في المليون، وتظهر غالبًا أعراض التسمم بالعنصر إذا زاد تركيزه عن ذلك المستوى، كما تؤدي زيادة التسميد بالبورون إلى ظهور أعراض التسمم، ويحدث ذلك غالبًا في الأراضي الحامضية الرملية الفقيرة في محتواها من المادة العضوية، عنه في الأراضي المتعادلة، أو الصفراء، أو الطينية، أو الغنية بالمادة العضوية (Thompson & Kelly ١٩٥٧، وEdmond وآخرون ١٩٧٥، وDevlin ١٩٧٥ وLorenez & Maynard ١٩٨٠).

ويتوقف امتصاص النباتات للبورون على مستوى البورون في محلول التربة، وليس على المحتوى الكلي للبورون في التربة. ويمكن لقدرة المادة العضوية على جذب البورون إليها أن تقلل من امتصاص النباتات للعنصر، بسبب ما تحدثه المادة العضوية من خفض للبورون في المحلول الأرضي (Yermiyahu وآخرون ٢٠٠١).

علاج نقص البورون

يعالج نقص البورون بالتسميد بأحد المركبات الآتية:

١- البوراكس Borax ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) يحوى ١٠,٦٪ بورون؛ يستعمل بمعدل ٥ - ١٢ كجم/فدان للتربة، أو رشا بتركيز ٠,٩ - ٢,٢٥ كجم/٤٠٠ لتر ماء. وفي حالة البنجر المزروع في الأراضي الرملية القلوية تزداد الكمية المضافة للتربة إلى ٢٢ كجم/فدان.

٢- السوليوبور Solubor ($Na_2B_{10}O_{16}.10\ H_2O$، و $Na_2B_4O_7.5H_2O$) يحوى ٢٠,٥٪ بورون، ويستعمل بمعدل ٢,٥- ٥ كجم/فدان للتربة، أو رشا بتركيز ٠,٤٥ - ٠,٧ كجم/٤٠٠ لتر ماء.

٣- خـامس بـورات الـصوديوم Sodium pentaborate ($Na_2B_{10}O_{16}.10H_2O$) يحـوى ١٨,١٪ بـورون، ويـستعمل بمعـدل ٢,٥- ٧,٥ كجـم/فـدان للتربـة، أو رشـا بمعـدل ٠,٤٥- ١,٣٥ كجم/٤٠٠ لتر ماء.

٤- تترابـورات — بنتاهيـدرات الـصوديوم -Sodium tetraborate pentahydrate ($Na_2B_4O_7.5H_2O$) يحوى ١٣,٧٪ بورون، ويستعمل بمعدل ٣,٥ — ٩ كجـم/فـدان للتربـة، أو رشا بتركيز ٠,٤٥- ١,٨ كجم/٤٠٠ لتر ماء.

٥- ونظرًا لأن أملاح البورون الصودية تعتبر شـديدة القابليـة للـذوبان فـى المـاء، وعرضـة للفقد بالرشح بسرعة؛ لذلك يفضل استعمال مادة الكوليمانايت ($Ca_2B_6O_{11}. 5H_2O$).

وبمقارنة تيسر البورون من تسعة مصادر للعنصر فى تربة رملية، وجد ما يلى:

١- تسرُّب البورون من سوليوبور solubor كلية — تقريبًا — فى خلال خمسة أسابيع.

٢- أطلق أكسيد البوريك معظم محتواه من البورون فى خلال سبعة أسابيع.

٣- استمر تيسر البورون من ديبور Dehybor لمدة ١٣ أسبوعًا.

٤- كان تيسر البورون من جرانوبور Granubor خطيًّا واستمر لمدة حوالى ١٢ أسبوع.

٥- تيسر البورون من خمسة مركبات أخـرى تحتـوى علـى بـورات الكالـسيوم أو بـورات الصوديوم والكالسيوم ببطء كبير، وكانت الأسرع الـ probertite والـ ulexita، ثـم B32G، وcolemanite، وB38G. وخلال فترة الدراسة التى دامت سـنتين (١٠٤ أسـابيع) لم يُطلـق B38G سوى نحو ٤٠٪ من محتواه من البورون.

وتجدر الإشارة إلى أن سرعة تيسر البورون من مركبات مثـل سـوليوبور قـد يترتـب عليهـا حدوث سمية للنباتات (Broschat ٢٠٠٨).

ولمزيد من التفاصيل عن البورون ودوره فى النبات، وأعراض نقـصه والتـسميد بـالبورون .. يراجع كل من Gauch & Dugger (١٩٥٤) و Gupta (١٩٧٩).

ولمزيد من التفاصيل الخاصة بنقص البورون فى النباتات وتصحيح هذا النقص .. يُراجع Shorrocks (١٩٩٧).

الموليبدنم

دور الموليبدنم فى النبات

يدخل الموليبدنم في تركيب أحد الإنزيمات التى تعمل على اختزال النترات فى النبات إلى أمونيا، كما يعد — كذلك — جزءًا من التركيب الجزيئى لإنزيم ريبوبروتينيز riboproteinase الضرورى لاختزال نيتروجين الهواء الجوى فى كل من البكتيريا *Azotobacter* و *Rhizobium* (Edmond وآخرون ١٩٧٥).

وقد لوحظ أن نقص الموليبدنم يتبعه دائمًا نقص فى تركيز حامض الأسكوربيك فى النبات، وهو الذى يحمى الكلوربلاستيدات من أى تغير فى تركيبها.

ويبدو أن للموليبدنم دورًا فى ميتابولزم الفوسفور فى النبات.

هذا .. وتعتمد أربعة إنزيمات نباتية على الموليبدنم فى فعلها، وهى: ritrate reductase، و aldehyde oxidase، و sulphite oxidase، و xanthine dehydrogenase. هذا .. إلا أن الموليبدنم لا يكتسب نشاطًا بيولوجيًا ويصبح مؤثرًا فى تلك الإنزيمات إلاّ بعد تكوينه لمعقد مع مركب pterin؛ ليتكون الموليبدنم المرافق الإنزيمى (Mendel ٢٠٠٧).

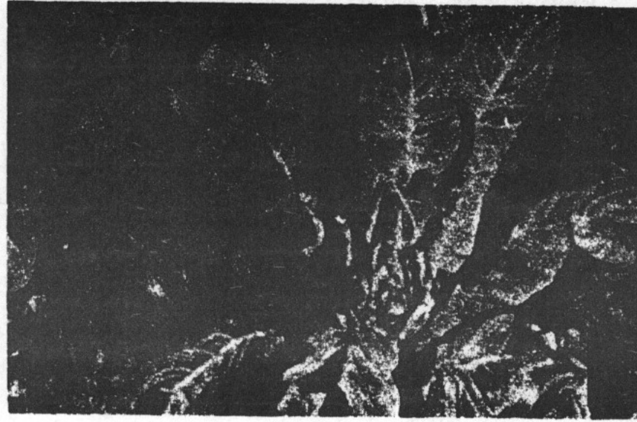
أعراض نقص الموليبدنم

تتميز أعراض نقص الموليبدنم — بصورة عامة — بظهور بقع مصفرة غير منتظمة الشكل والتوزيع بين العروق، وتشوه الأوراق الحديثة، وموت البرعم الطرفى، ولا ينمو نصل الورقة بمعدله الطبيعى، وربما لا ينمو كلية، ويبقى العرق الوسطى فقط، كما يكون النمو بطيئًا، والنباتات متقزمة، ويصاحب ذلك نقص فى كمية ونوعية المحصول.

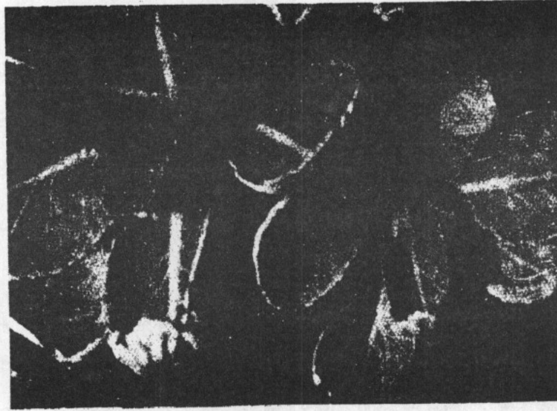
ومن أعراض نقص الموليبدنم فى الطماطم والخيار والفاصوليا: التفاف حواف الأوراق، وتلونها باللون الأصفر أو البنى، وفى القنبيط: يكون القرص صغيرًا ومفككًا، والأوراق ضيقة، وحواف النصل متآكلة، وتسمى هذه الحالة بمرض طرف السوط whiptail. وفى البروكولى تأخذ الأوراق شكلاً ملعقيًّا.

وأكثر الخضراوات احتياجًا إلى التسميد بالموليبدنم هى: الخس، والفاصوليا، والقنبيط، والبروكولى، والطماطم، والخيار، والبصل، والسبانخ.

وتظهر أعراض نقص الموليبدنم فى القنبيط والبروكولى فى شكلى (١-٥)، و(١-٦). (عن Climax Molybdenum Comopany ١٩٥٦).



شكل (١-٥): أعراض نقص الموليبدنم فى القنبيط. يلاحظ صغر الأوراق الداخلية وتآكل حواف النصل، وهى الظاهرة المعروفة باسم طرف السوط whiptail



شكل (١-٦): أعراض نقص المولبيدنم فى البروكولى يلاحظ أن الأوراق تأخذ شكلاً ملعقيًا، وهى أعراض تسبق ظهور حالة "طرف السوط" فى حالات النقص الشديدة.

هذا .. ويتنافس أيونا الكبريتات والموليبدات على كل من الامتصاص والانتقال داخل النبات؛ بما يؤدى إلى زيادة كبيرة فى امتصاص الموليبدنم عند نقص الكبريت. وعلى الرغم من أن تلك الحقيقة لا تؤثر كثيرًا على النمو المحصولى نظرًا لتحمل النباتات لتركيزات عالية نسبيًا من الموليبدات، إلاّ أنها يمكن أن تؤثر كثيرًا على تغذية الحيوانات — التى تتغذى على تلك النباتات، وخاصة الحيوانات المجترة نظرًا لحساسيتها لزيادة الموليبدنم (Alhendawi وآخرون ٢٠٠٥).

تظهر — غالبًا — أعراض نقص الموليبدنم عندما ينخفض تركيزه فى الأوراق عن ٠,٢ جزءًا فى المليون على أساس الوزن الجاف، إلا أن مستوى النقص ومستوى الكفاية يتباينان كثيرًا — من محصول لآخر — من أقل من ٠,١ جزءًا فى المليون إلى أكثر من ٠,٥ جزءًا فى المليون (عن Gupta & Lipsett ١٩٨١).

تيسر الموليبدنم فى التربة

يتوفر الموليبدنم فى الأراضى التى يزيد فيها الـ pH عن ٧، ويقل نسبيًا فى pH من ٥,٥ — ٧، ويصبح النقص شديدًا عند انخفاض الـ pH عن ٥,٥، وذلك بعكس كل العناصر الدقيقة الأخرى.

وتظهر أعراض نقص الموليبدنم فى الأراضى الجيرية بعد استصلاحها وغسيلها، حيث يُفْقَد ما قد يوجد فيها من موليبدنم عند غسيلها.

ويوجد الموليبدنم فى التربة فى صوره الثلاث: المثبتة كجزء من معادن التربة ومن المادة العضوية، والمدمصة على سطح غرويات الطين، والذائبة فى محلول التربة، كأيون موليبدات MoO_4^-، أو $HMoO_4^-$. ويتراوح تركيز الموليبدات الذائبة فى التربة بين ٠,٣ و٣,٩ جزءًا فى المليون من التربة الجافة. ويدمص أيون الموليبدنم بطريقة التبادل الأنيونى، كما فى حالة أنيونات الكبريتات والفوسفات.

هذا .. ويكفى نحو ٠,٠١ جزءًا فى المليون للتغلب على نقص العنصر فى المحاليل المغذية.

ويعالج نقص الموليبدنم فى التربة باستعمال أحد السمادين التاليين:

١- موليبدات الأمونيوم Ammonium molybdate، وتحوى ٤٨,٩٪ موليبدنم، وتركيبها: $(NH_4)_2MoO_4$، وتستعمل بمعدل ١,٨ كجم/فدان للتربة سرًا فى خنادق، أو ٣,٦ كجم للفدان عند إضافتها نثرًا.

٢- موليبدات الصوديوم Sodium molybdate، وتحوى ٣٩,٧٪ موليبدنم، وتركيبها: $Na_2Mo_4.2H_2O$ وتستعمل بمعدل ٢٢٥ — ٤٥٠ جم للفدان للتربة، أو رشا بتركيز ١١٠ — ٤٥٠ جم/٤٠٠ لتر ماء.

وقد أدى الرش الورقى للفاصوليا بالموليبدنم بمعدل ١٧ جم من العنصر (Mo) للفدان ٢٥ يومًا بعد الإنبات إلى تحفيز نشاط إنزيما الـ nitrogenase والـ nitrate reducatse، وزيادة تراكم النيتروجين فى النموات الخضرية (Vieira وآخرين ١٩٩٨).

عناصر أخرى

يعد الألومنيوم، والكوبالت، والصوديوم، والسيلينيم، والسيليكون من العناصر المفيدة للنباتات؛ فهى وإن لم تكون ضرورية لكل النباتات، لكنها يمكنها تحفيز النمو النباتى، وقد تكون ضرورية لأنواع نباتية معينة. ولقد ذكر عن تلك العناصر أنها تُحسِّن مقاومة النباتات لبعض المسببات المرضية ولآكلات الأعشاب، وتجعلها أكثر تحملاً لبعض الظروف البيئية القاسية، مثل شدِّ الجفاف، وشدِّ الملوحة، ونقص العناصر أو زيادتها. هذا ولم تحظ التأثيرات المفيدة للتركيزات المنخفضة من تلك العناصر بنفس الاهتمام الذى نالته التأثيرات السامة للتركيزات العالية منها (Pilon-Smits وآخرون ٢٠٠٩).

ولقد ثبتت ضرورة عدد من العناصر الأخرى للنمو الطبيعى فى بعض النباتات، لكن لا يوجد دليل على ضرورتها لكل النباتات. وهذه العناصر هى: الصوديوم، والكلور، والكوبالت، والسيليكون، والجاليم، والألومنيوم، واليود، والفاناديوم، والسيلينيوم.

الصوديوم

أهمية الصوديوم ومدى ضرورته

ثبتت ضرورة الصوديوم لنمو وحياة بعض الطحالب، لكن لم يثبت ذلك أبدًا بالنسبة للنباتات الراقية. ومع ذلك .. فمن المعروف أن الصوديوم يفيد فى تحسين نمو بعض النباتات. وفى غالبية هذه الحالات حدث التأثير المفيد للصوديوم عندما نقص عنصر البوتاسيوم؛ الأمر الذى أدى الى الاعتقاد بأن الصوديوم يقوم ببعض المهام التى يقوم بها البوتاسيوم.

هذا .. ويوجد توازن بين امتصاص الصوديوم وامتصاص الكاتيونات الأخرى؛ كالكالسيوم والمغنيسيوم. ففى البنجر أدت زيادة الصوديوم إلى زيادة امتصاصه على حساب الكاتيونات الأخرى. ويشذ البوتاسيوم عن هذه القاعدة.. فليس من الضرورى أن تؤدى زيادة الصوديوم إلى نقص امتصاص البوتاسيوم، ولكن زيادة الصوديوم أو البوتاسيوم — بوجهٍ عام — تؤدى إلى نقص امتصاص النبات للكالسيوم والمغنيسيوم. ويبدو أن الخضراوات التى تمتص أكبر قدر من

الصوديوم — دون أن يتأثر امتصاصها من البوتاسيوم — هي أكثر الخضراوات استجابة للتسميد بالصوديوم (Larson & Pierre ١٩٥٣).

ولا يعرف على وجه الدقة الدور الذي يلعبه الصوديوم في النباتات التي تستجيب للتسميد بهذا العنصر، ولكن من المعروف أنه يزيد نسبة الرطوبة في الأنسجة النباتية، كما أنه يؤدي إلى زيادة مساحة الأوراق في بنجر السكر. وربما يفيد الصوديوم في منع تراكم كاتيونات أخرى بالنبات قد تكون ضارة له (Russell ١٩٧٣).

استجابة محاصيل الخضر للصوديوم

أكثر الخضراوات استجابة للتسميد بالصوديوم هي: البنجر، والسلق السويسري، والكرفس، واللفت. وبرغم أن السبانخ تشترك مع البنجر في أنهما من أكثر الخضراوات تحملاً لملوحة التربة، إلا أن السبانخ لا تستجيب للتسميد بالصوديوم، في حين يستجيب البنجر بشدة لذلك. كذلك يعتبر الكرفس من أقل الخضراوات تحملاً لملوحة التربة، ومع ذلك .. فهو من أكثر الخضراوات استجابة للتسميد بالصوديوم؛ وعليه .. فلا توجد علاقة بين درجة تحمل المحصول للملوحة، وبين احتياجه إلى التسميد بالصوديوم.

وتقسم الخضر حسب درجة استفادتها من التسميد بالصوديوم (عند نقص البوتاسيوم أو توفره في التربة) إلى المجموعات التالية:

أولاً: في حالة نقص عنصر البوتاسيوم:

١- خضر الاستفادة فيها قليلة جدًا: الخس — البطاطس— فول الصويا — السبانخ — الفراولة— الفاصوليا.

٢- خضر الاستفادة فيها قليلة إلى متوسطة: البروكولي — كرنب بروكسل — الجزر — البسلة — الطماطم.

ثانيًا: فى حالة توفر عنصر البوتاسيوم:

١- خضر الاستفادة فيها قليلة إلى متوسطة: الكرنب - الكيل - كرنب أبو ركبة- المسترد - الفجل.

٢- خضر الاستفادة فيها كبيرة: الكرفس - بنجر السكر - السلق السويسرى - بنجر المائدة - اللفت.

الكلور

ثبت بالتجربة أن عنصر الكلور ضرورى للطماطم فى المزارع المائية، ولكن لم يثبت أبدًا نقص الكلور تحت ظروف الحقل؛ وذلك لتوفره كشوائب فى كل الأسمدة، كما ثبتت ضرورة الكلور لنمو نحو ٤٠ نوعًا نباتيًّا. والحد الأدنى للعنصر فى النبات هو ١٠٠ جزء فى المليون من الوزن الجاف.

ويعتبر أيون الكلور ضروريًّا فى عملية البناء الضوئى؛ لأنه يسهم فى عملية أكسدة الماء. كما يلعب العنصر دورًا فى تطور النمو الجذرى.

ويعتبر ماء المطر هو المصدر الأساسى للكلور، وخاصة فى المناطق القريبة من البحار والمحيطات. وأيون الكلور - مثل النترات والبورات - لا يثبت فى التربة، ويكون عرضة للفقد بالرشح.

هذا .. ويحل أيون البروم محل الكلور، وكلاهما ضرورى لنمو البنجر (Edmond وآخرون ١٩٧٥، وDevlin ١٩٧٥).

من أهم أعراض نقص الكلور ذبول الأوراق، وظهور اصفرار وتحلل ومناطق برونزية اللون بنصل الورقة الذى يتوقف عن النمو.

ولا تظهر أعراض نقص العنصر - عادة - إذا زاد تركيزه على ١٠٠ جزء فى المليون على أساس الوزن الجاف.

ومن أكثر محاصيل الخضر تحملاً لزيادة الكلور: البنجر، والسبانخ، والأسبرجس، ومن أكثرها حساسية لزيادته: الخس، والفاصوليا، والبطاطس.

السيليكون

ثبتت ضرورة السيليكون للأرز ولعديد من الطحالب، كما وجد أنه يحسن نمو الأرز والشعير وعباد الشمس دون رقاد. ويشكل السيليكون جزءًا كبيرًا من الرماد في النباتات بوجه عام.

وفي الخيار .. أدى التسميد بالسيليكون في المزارع المائية بتركيز ٠,٧٥ مللي مولار (باستخدام ميتاسيليكات البوتاسيوم Potassium metasilicate) إلى زيادة المحصول بنسبة حوالي ٣,٥٪، وإلى انخفاض معدل الإصابة بالفطر *Fulvia fulva* (Tanis ١٩٩١).

كما تؤدي المعاملة بتركيزات عالية من السيليكون (١,٧ ، و ٣,٤ مللي مول سيليكون في المحاصيل المغذية) للخيار إلى جعل الأوراق أكثر اخضرارًا وإلى تحفيز قدرة الأوراق على البناء الضوئي، وزيادة وزنها الطازج ومحتواها الكلوروفيلي، وإلى زيادة نشاط إنزيم RuBPCase بالأوراق، ومحتواها من البروتين الذائب. وأدى تراكم السيليكون بالنبات إلى زيادة تماسك الأوراق وتأخير شيخوختها. وبينما احتوت أوراق معاملة الكنترول غير المعاملة بالسيليكون على ٠,٥٪ فوسفورًا، فإن تركيز الفوسفور بالأوراق بلغ ٠,٨٪، و١,٢٪ في معاملتي ١,٧ ، و٣,٤ مللي مول سيليكون، على التوالي (Lee وآخرون ٢٠٠٠).

ويتحقق أفضل نمو للخيار والطماطم في المزارع المائية عندما يحتوي المحلول المغذي على ١٠٠ جزء في المليون من الـ silicic acid (H_2SiO_3) (Jones ١٩٩٧).

التيتانيم

أدت معاملة نباتات الفلفل بالتيتانيم titanium إلى تحفيز كتلتها البيولوجية وامتصاصها للعناصر، وزيادة نشاط عدة إنزيمات بها (هي: الكاتاليز catalase، والبيروكسيديز peroxidase، والليبوكسي جينيز lipoxygenase، والنيتريت ردكتيز nitrate

reductase)، وزيادة تركيز كل من حامض الماليك وكلوروفيل الأوراق، ومحتوى ثمارها من كل من الكاروتينات وحامض الأسكوربيك. كما أدت المعاملة بالتيتانيم إلى خفض تركيز النشا فى النباتات. وقد تراكم التيتانيم — أساسًا — فى سيتوبلازم وكلوروبلاستيدات خلايا الأوراق. كذلك أدت المعاملة بالتيتانيم إلى زيادة تركيز الصورة النشطة للحديد (Fe^{2+}) فى الأوراق والثمار وكلوروبلاستيدات الأوراق والثمار. وربما تكون تلك الزيادة فى الصورة النشطة للحديد هى المسئولة عن التأثيرات الإيجابية للتيتانيم (Carvajal & Alcaraz ١٩٩٨).

السيلينيم

على الرغم من أن السيلينيم يُعد من العناصر الضرورية فى تغذية الحيوان، فإنه ليس كذلك للنبات، ولكن النباتات تمتصه تبعًا لمدى تيسره فى التربة، وتركيزه فيها، وصُوَره المتواجدة بها، والنوع النباتى. هذا.. وتتشابه الخصائص الكيميائية والفيزيائية للسيلينيم والكبريت بدرجة كبيرة، كما يتشابه امتصاص النباتات للسيلينييت SeO_4^{-2} مع امتصاصها للكبريتات SO_4^{-2}، إلى درجة الاعتقاد بأن الأيونين يتنافسان على نفس مواقع الارتباط binding sites فى الجذور.

ويزداد تراكم السيلينيم الممتص فى القمم النامية، وهى المواقع التى يزداد فيها — كذلك — تمثيل البروتينات المحتوية على الكبريت. كما يزداد تراكم السيلينيم فى الخضر التى يرتفع محتواها من الكبريت مثل البصل والكرنبيات.

وعلى عكس الاعتقاد الشائع، فإن التركيزات المنخفضة من الـ Na_2SeO_4 حفزت امتصاص وتراكم الكبريت فى البصل (Kopsell & Randle ١٩٩٧).

الكوبالت

لم تثبت ضرورة الكوبالت إلا لبعض الطحالب الخضراء المزرقة، ولبكتيريا الرايزوبيم التى تستفيد منها البقوليات فى تثبيت آزوت الهواء الجوى، والتى تفقد قدرتها على تثبيت الآزوت فى غياب العنصر.

الجاليم

لم تثبت ضرورة الجاليم gallium إلا لنبات حشيشة البط duck weed وهو: (*Lemma minor*)، ولفطر *Aspergillus niger*.

الألومنيوم

يُحَسِّن الألومنيوم من نمو عديد من النباتات.

الفاناديم

لم تثبت ضرورة الفاناديم Vanadium إلا بالنسبة لبعض الطحالب الخضراء، لكنه يمكن أن يحل محل الموليبدنم في أيض النيتروجين بالنباتات.

النيكل

يُعد النيكل من العناصر الضرورية لكل من البقوليات والحبوب الصغيرة مثل الشعير. يشكل العنصر جزءًا من الإنزيم urease ويؤدى غيابه إلى تراكم اليوريا باوراق النباتات. ويتعين توفر العنصر Ni فى المحاليل المغذية بتركيز ٠,٠٥٧ جزء فى المليون (Jones ١٩٩٧).

مصادر إضافية للعناصر المغذية وأعراض نقصها

يعد مرجع Wallace (١٩٦١) من أشمل المصادر فيما يتعلق بأعراض نقص العناصر المغذية فى النباتات. ويضم المرجع أكثر من ٣٠٠ صورة ملونة لأعراض نقص العناصر فى مختلف النباتات، كما أصدرت وزارة الزراعة البريطانية سلسلة من الكتب لمعرفة أعراض نقص العناصر فى النباتات، وتعتبر بديلة للمرجع السابق، ويهم منتج الخضر منها المجلد الأول (Bould وآخرون ١٩٨٣)، وهو عبارة عن الأساسيات، والمجلد الثانى (Scaife & Turner ١٩٨٣)، وهو خاص بأعراض نقص العناصر فى محاصيل الخضر. وكذلك يعتبر Van Eysinga وآخرون (١٩٨١) مرجعًا شاملاً بالصور الملونة لأعراض نقص العناصر

وزيادتها فى ثلاثة من أهم محاصيل الصوبات؛ وهى: الطماطم، والخيار، والخس.

أما Marschner (١٩٩٥) فيقدم عرضًا متقدمًا لدور العناصر المغذية فى النبات، سواء أكانت عناصر كبرى، أم صغرى، أم مفيدة. ويمكن — كذلك — الرجوع إلى White (١٩٩٧) بشأن العناصر المغذية للنبات.

وقد قدم Sams & Conway (٢٠٠٣) بيانًا مفصلاً عن تأثيرات العناصر الغذائية التى تتيسر لمحاصيل الخضر– نقصًا أو زيادة — أثناء نموها – على فسيولوجيا بعد الحصاد لتلك الخضر.

الفصل الثانى

الأسمـــدة

الأسمدة الكيميائية

تشتمل الأسمدة الكيميائية Fertilizers على كل المركبات الكيميائية التى تضاف إلى التربة، أو تستخدم رشا على النباتات بهدف تغذيتها. ويستبعد من ذلك الأسمدة العضوية، والمركبات التى تستخدم فى تعديل الرقم الأيدروجينى للتربة.

الأسمدة الكيميائية البسيطة

الأسمدة الكيميائية البسيطة هى تلك الأسمدة التى تتكون من مركب كيميائى واحد، وتحتوى على عنصر أو أكثر من العناصر الغذائية التى يحتاج إليها النبات.

ويوضح جدول (٢-١) نسبة ما تحتويه بعض الأسمدة البسيطة من العناصر السمادية الرئيسية، وهى: النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم.

جدول (٢-١): محتوى بعض الأسمدة البسيطة من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم.

السماد	التركيب الكيميائى	النسبة المئوية لمحتوى السماد من[أ]		
		النيتروجين (N)	الفوسفور (P_2O_5)	البوتاسيوم (K_2O)
نترات الأمونيوم	NH_4NO_3	٣٣	-	-
فوسفات أحادى الأمونيوم	$NH_4H_2PO_4$	١١	٤٨	-
فوسفات ثنائى الأمونيوم	$(NH_4)_2HPO_4$	٢١	٥٣	-
كبريتات الأمونيوم	$(NH_4) SO_4$	٢٠,٥	-	-
الأمونيا اللامائية	NH_3	٨٢	-	-
الأمونيا المائية (فى الماء)	NH_3	٢٠	-	-
سيناميد الكالسيوم[ب]	$CaCN_2$	٢١	-	-

يتبع

تابع جدول (٢-١).

السماد	التركيب الكيميائى	النسبة المئوية لمحتوى السماد من(أ)		
نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	١٥,٥	–	–
نترات البوتاسيوم	KNO_3	١٣	–	٤٤
نترات الصوديوم	$Na NO_3$	١٦	–	–
اليوريا(ب)	$CO (NH_2)_2$	٤٦	–	–
السوبر فوسفات العادى	$Ca H_4 (PO_4)_2$	–	١٦- ٢٠	–
السوبر فوسفات الثلاثى	$Ca H_4 (PO_4)_2$	–	٤٥- ٤٦	–
محلول حامض الفوسفوريك	H_3PO_4	–	٥٢- ٥٤	–
كبريتات البوتاسيوم	K_2SO_4	–	–	٤٨- ٥٢
كلورور (ميورات) البوتاسيوم	KCl	–	–	٦٠- ٦٢

(أ) للتحويل من P_2O_5 إلى P يضرب فى ٠,٤٣٦٤. وللتحويل من P إلى P_2O_5 يضرب فى ٢,٢٩١٥. وللتحويل من K_2O إلى K يضرب فى ٠,٨٣٠١. وللتحويل من K إلى K_2O يضرب فى ١,٢٠٤٧.

(ب) مركبات عضوية لاحتوائها على الكربون، ولكنها ليست مركبات عضوية طبيعية (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

ولمزيد من التفاصيل عن الأسمدة – سواء أكان استعمالها فى الزراعات الحقلية، أم المحمية، أم اللاأرضية – يُبين جدول (٢-٢) تحليل عدد كبير من الأسمدة وخصائصها ودرجة ذوبانها فى الماء ... إلخ (عن Hanan ١٩٩٨).

جدول (٢-٢): الأسمدة الكيميائية وتحليلها وخصائصها الكيميائية وذوبانها فى الماء ومحتواها من العناصر الأخرى.

السماد	التركيب الكيميائى[أ]	التحليل[ب]	الوزن الجزيئى	الوزن المكافئ[ج]	التأثير على الحموضة	الذوبان فى الماء (جم/ ١٠٠ مل ماء)	محتوى العناصر الأخرى[د]
كبريتات الألومنيوم	$Al_2(SO_4)_3 . 18H_2O$	0-0-0	667	222	حامضى جداً	ذائب	14% S
كلوريد الأمونيوم	NH_4Cl	25-0-0	54	54	حامضى	40	---
نترات الأمونيوم	NH_4NO_3	34-0-0	80	80	حامضى	118	---
الأمونيوم متعددة الفوسفات	$(NH_4)_3 H_4P_2O_7$	15-62-0	232	---	حامضى جدًا	ذائب	---
كبريتات الأمونيوم	$(NH4)_2 SO_4$	20-0-0	132	66	حامضى جدًا	71	24% S
خبث المعادن Basic slag	$Ca_4P_2O_9$	0-21-0	366	---	قاعدى	0+	44% Ca
نترات الكالسيوم والأمونيوم	يستعمل مكان نترات الأمونيوم التى قد تكون متفجرة، ويحتوى ١٥,٥ ٪ N أو أكثر						
كربونات الكالسيوم (الكالسيت)	$CaCO_3$	0-0-0	100	50	قاعدى	0+	40% Ca
سيناميد الكالسيوم	$CaCN_2$	20-0-0	80	---	قاعدى	يتحلل	---
أيدروكسيد الكالسيوم (ماء الجير)	$Ca(OH)_2$	0-0-0	74	37	قاعدى	0+	60-80% Ca
ميتا فوسفات الكالسيوم	$Ca(PO_3)_2$	0-64-0	198	---	قاعدى	0+	20% Ca
أحادى فوسفات الكالسيوم	$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$	0-56-0	252	126	قاعدى	يتحلل	16% Ca
نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2. 4H_2O$	15-0-0	236	118	قاعدى	102	17% Ca

يتبع

تابع جدول (٢-٢).

السماد	التركيب الكيميائى[أ]	التحليل[ب]	الوزن الجزيئى	الوزن المكافئ[ج]	التأثير على الحموضة	الذوبان فى الماء (جم/ ١٠٠ مل ماء)	محتوى العناصر الأخرى[د]
كبريتات الكالسيوم (الجبس)	$CaSO_4.2H_2O$	0-0-0	172	86	متعادل	0+	23% Ca و 19%S
فوسفات الكالسيوم الثنائية	$CaHPO_4.2H_2O$	0-41-0	172	---	قاعدى	0+	23% Ca
فوسفات الأمونيوم الثنائية	$(NH_4)_2HPO_4$	21-53-0	132	66	حامضى	43	---
الحجر الجيرى الدولوميتى	$CaMg(CO_3)_2$	0-0-0	184	---	قاعدى	0+	22% Ca و 13% Mg
فوسفات المغنيسيوم والأمونيوم	$MgNH_4PO_4.H_2O$	8-46-0	155	---	حامضى	0+	13% Mg
كبريتات المغنيسيوم (ملح إبسوم)	$MgSO_4.7H_2O$	0-0-0	247	123	متعادل	71	10%Mg و 13 S
نترات المغنيسيوم	$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	11-0-0	256	128	متعادل	42	10% Mg
فوسفات أحادى الأمونيوم	$NH_4H_2PO_4$	11-48-0	115	115	حامضى	23	1.4% Ca, 2.6% S
حامض النيتريك	HNO_3	22-0-0	63	63	حامضى جدًا	ذائب	---
حامض الفوسفوريك	H_3PO_4	0-52-0	98	33	حامضى جدًا	548	---
كربونات البوتاسيوم	K_2CO_3	0-0-66	138	69	قاعدى	112	---
كلوريد البوتاسيوم	KCl	0-0-62	75	75	متعادل	35	47%Cl

يتبع

تابع جدول (٢-٢).

السماد	التركيب الكيميائي[أ]	التحليل[ب]	الوزن الجزئى	الوزن المكافئ[ج]	التأثير على الحموضة	الذوبان فى الماء (جم/ ١٠٠ مل ماء)	محتوى العناصر الأخرى[د]
ثنائى فوسفات البوتاسيوم	K_2HPO_4	0-41-54	174	87	قاعدى	167	---
ميتا فوسفات البوتاسيوم	KPO_3	0-57-39	118	---	حامضى	0+	---
أحادى فوسفات البوتاسيوم	KH_2PO_4	8-53-34	120	120	قاعدى	33	---
نترات البوتاسيوم	KNO_3	13-0-44	101	101	قاعدى	13	---
كبريتات البوتاسيوم	K_2SO_4	0-0-53	174	87	متعادل	7	18% S
حامض البيروفوسفوريك	$H_4P_2O_7$	0-80-0	178	45	حامضى	709	---
نترات الصوديوم	$NaNO_3$	16-0-0	85	85	قاعدى	73	27% Na
السوبر فوسفات	$CaH_4(PO4)_2$	0-20-0	234	78	متعادل	2	18% Ca و 12% S
حامض الفوسفوريك السوبر	$H_3PO_4 + H_4P_2O_7$	0-76-0			يتصلب فى الحرارة المنخفضة		
الكبريت	S	0-0-0	32	---	حامضى	0+	---
السوبر فوسفات التربل	$CaH_4(PO_4)_2$	0-42-0	234	78	متعادل	2	12% Ca
اليوريا	$CO(NH_2)_2$	45-0-0	60	30	حامضى	78	---

أ- قد يختلف التركيب حسب عمليات التصنيع وماء التبلور ..إلخ.

ب- نسب الـ N، والـ P_2O_5، والـ K_2O. (تُقرأ الأرقام من اليسار إلى اليمين).

ج- مقربة لأقرب رقم صحيح .

د- قد تختلف حسب عمليات التصنيع.

الأسمدة الآزوتية الهامة

من أهم الأسمدة الآزوتية ما يلى:

١- سلفات النشادر:

تعتبر سلفات النشادر مصدرًا جيدًا للآزوت الميسر، وهى لا تفقد بسرعة من التربة كنترات الصوديوم، وتتميز بأن لها تأثيرًا حامضيًا على التربة. ومن مميزاتها الأخرى سهولة خلطها بالسوبر فوسفات وسلفات البوتاسيوم، لكن لا يجوز خلطها مع الجير، أو مع الأسمدة القاعدية. وتحتوى سلفات النشادر — كذلك — على كبريت بنسبة ٢٤٪.

٢- نترات الصوديوم:

تعتبر نترات الصوديوم سمادًا سريع الذوبان والامتصاص، ومعرضًا للفقد من التربة؛ لذا تجب إضافته على دفعات حسب حاجة النبات. وهو يحتوى على صوديوم بنسبة ٢٧٪.

٣- نترات الكالسيوم:

لهذا السماد خصائص نترات الصوديوم، لكنه يتميز عن الأخير باحتوائه على الكالسيوم بنسبة حوالى ١٧٪، وهو سريع الذوبان فى الماء، ويعد مصدرًا جيدًا للكالسيوم، بالإضافة إلى محتواه من النيتروجين.

٤- نترات البوتاسيوم:

يتميز سماد نترات البوتاسيوم باحتوائه على كل من النيتروجين والبوتاسيوم فى صورة صالحة للامتصاص.

٥- اليوريا:

تتحلل اليوريا — عند إضافتها للتربة — إلى أمونيا، ثم إلى نترات.

٦- سيناميد الكالسيوم:

يتحلل سيناميد الكالسيوم – عند إضافته للتربة – إلى كربونات الكالسيوم واليوريا، ثم تتحلل اليوريا بواسطة الكائنات الحية الدقيقة فى التربة، معطية كربونات الأمونيوم، ونترات الكالسيوم.

ولذلك.. فسيناميد الجير يتيسر فيه النيتروجين ببطء، ولا يخشى من فقده مع ماء الرشح. ونظرًا لتأثيره السام على النباتات، تجب إضافته قبل الزراعة بوقت كاف. ولا يخلط هذا السماد مع سلفات النشادر، أو السوبرفوسفات، لكن يمكن خلطه بسلفات البوتاسيوم (استينو وآخرون ١٩٦٣).

هذا.. ويعطى التسميد بالنيتروجين النتراتى أفضل نتائجه عندما يتراوح pH التربة بين ٤,٥ و ٧، بينما يعطى النيتروجين الأمونيومى أفضل تأثيراته عندما تكون التربة متعادلة أو قلوية؛ ولذا .. فإن استعمال الأسمدة الآزوتية النشادرية فى الأراضى القلوية يكون أفضل منه فى الأسمدة النتراتية.

وبالمقارنة نجد فى الأراضى الجيرية أن معظم النيتروجين الأمونيومى المضاف يبقى فى حالة ذائبة فى المحلول الأرضى ولا يدمص على سطح غرويات التربة، كما يتعرض جزء من الأمونيا للفقد بالتطاير volatilization (Balba ١٩٩٥).

وبالرغم من أن النبات يستنفذ قدرًا أكبر من الطاقة لتحويل النترات إلى نشادر، إلا أن النترات تستخدم أحيانًا لإعطاء نمو سريع لعدم وجود ما يحد من حركتها فى التربة.

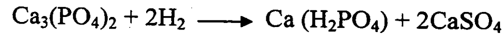
أما اليوريا فإنها تفضل للتغذية الورقية، كما أنها تستعمل فى التسميد الأرضى عند الرغبة فى إعطاء دفعة قوية للنمو الخضرى، وخاصة فى الجو البارد.

الأسمدة الفوسفاتية الهامة

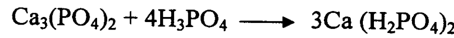
يرجع كل الفوسفور الموجود في الأسمدة التجارية إلى صخر الفوسفات phosphate rock (أو معدن الأباتيت apatite). والفوسفور الموجود بالصخر غير قابل للذوبان في الماء، ولا يكون ميسرًا لامتصاص النبات، لكن عند طحنه إلى مسحوق دقيق، فإن بعض الفوسفور الموجود به يصبح صالحًا لاستعمال النبات بفعل الأحماض الموجودة في التربة، لكن الكمية الميسرة منه تكون منخفضة جدًا.

ويصنَّع سماد السوبر فوسفات بمعاملة صخر الفوسفات بحامض الكبريتيك؛ حيث يتحول فوسفات الكالسيوم الثلاثي غير القابل للذوبان إلى فوسفات أحادي الكالسيوم وفوسفات ثنائي الكالسيوم القابلين للذوبان؛ وعليه .. فإن السوبر فوسفات هو خليط من كل من فوسفات أحادي الكالسيوم وفوسفات ثنائي الكالسيوم مع الجبس gypsum الذي يشكل نصف السوبر فوسفات العادي؛ ولذا .. فهو يحتوي — كذلك — على ١٨٪ كالسيوم.

أما السوبر فوسفات المزدوج (أو الثلاثي) double (treble or triple) super phosphate، فإنه يصنع بمعاملة صخر الفوسفات بحامض الفوسفوريك؛ حيث يتكون فوسفات أحادي الكالسيوم وفوسفات ثنائي الكالسيوم:



$$Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2 \longrightarrow Ca\,(H_2PO_4) + 2CaSO_4$$



$$Ca_3(PO_4)_2 + 4H_3PO_4 \longrightarrow 3Ca\,(H_2PO_4)_2$$

ويلاحظ أن السوبر فوسفات العادي يحتوي على ١٦٪–٢٠٪ P_2O_5 حسب محتواه النسبي من كل من الجبس، وفوسفات أحادي الكالسيوم، وفوسفات ثنائي الكالسيوم، بينما يحتوي السوبر فوسفات المركز على ٤٧٪ P_2O_5، ونحو ١٢٪ كالسيوم.

هذا .. ويعد حامض الفوسفوريك التجاري من أكثر الأسمدة الفوسفاتية استخدامًا في الزراعات الصحراوية التي تروى بالتنقيط؛ نظرًا لسهولة إضافته من خلال شبكة الري.

كما يستخدم — كذلك — بكثرة سماد فوسفات ثنائي الأمونيوم (٢١٪ N، و ٥٣٪ P_2O_5) إلى جانب التقاوى، أو نثرًا فى الأرض قبل الزراعة. ويخلو هذا السماد من الكالسيوم، ولكن سماد فوسفات أحادى الأمونيوم (١١٪ N، و٤٨٪ P_2O_5) يحتوى على ١,٤٪ كالسيوم.

ومن بين الأسمدة الفوسفاتية الهامة والتى جاء ذكر بعضها فى جدول (٢-٢)، ما يلى (White ١٩٩٧):

السماد	التركيب الكيميائى	محتوى الـ P(٪)
الـ Ortho-P		
حامض الفوسفوريك	H_3PO_4	٢٣
السوبر فوسفات العادى أو الأحادى	$Ca(H_2PO_4)_2; CaSO_4$	٨-١٠
السوبر فوسفات المركز أو التربل	$Ca(H_2PO_4)_2$	١٩- ٢١
فوسفات أحادى الأمونيوم	$NH_4H_2PO_4$	٢١-٢٦
فوسفات ثنائى الأمونيوم	$(NH_4)_2HPO_4$	٢٠-٢٣
فوسفات أحادى البوتاسيوم	KH_2PO_4	٢٣
الـ Poly-P		
حامض الفوسفوريك السوبر	$H_4P_2O_7$ والأعلى بوليمرية	> ٣٣
الأمونيوم متعدد الفوسفات	$(NH_4)_4PO_7$ والأعلى بوليمرية	٢٣
الفوسفات غير الذائبة		
صخور الفوسفات	$Ca_{10}(PO_4)_6(F,OH)_2$ مع كميات متباينة من الـ $CaCO_3$ وSiO_2 وغيرها من الشوائب	٦- ١٨
خبث المعادن	Ca ، و Mg، وفوسفات، وF_2O_3، و$CaSiO_3$	٣ - ١٠
الفوسفات العضوى	العظام والجريش وزرق الطيور	٥ -١٣

وفى الأراضى الجيرية الغنية بكربونات الكالسيوم والكالسيوم المتبادل يمكن ألاّ يتيسر الفوسفور المستعمل فى التسميد بأى من الآليات التالية:

١- بالادمصاص على المواقع النشطة من كربونات الكالسيوم.

٢- بالترسيب بالكالسيوم المتوفر فى التربة.

٣- بالتفاعل مع الكالسيوم المتبادل (Balba ١٩٩٥).

الأسمدة البوتاسية الهامة

يعتبر سماد سلفات البوتاسيوم (٤٨٪ - ٥٢٪ K_2O) أفضل الأسمدة البوتاسية. وهو سريع الذوبان والامتصاص، كما أنه يحتوى — إلى جانب البوتاسيوم — على ١٨٪ كبريتًا.

أما سماد كلورور (ميورات) البوتاسيوم، فهو بطئ الذوبان والمفعول، ويفضل استعماله فى الأراضى الرملية والخفيفة، ولا تجوز إضافته قريبًا من النباتات؛ إذ إنه يضر بالجذور، ومع ذلك فهو يشكل حوالى ٩٥٪ من الأسمدة البوتاسية المستعملة على مستوى العالم. أما سماد نترات البوتاسيوم (٤٤٪ K_2O) فقد أسلفنا الإشارة إليه.

المصادر السمادية لبقية العناصر المغذية الضرورية للنبات

يتم التسميد بباقى العناصر المغذية الضرورية للنبات بإضافتها إلى التربة، أو رشا على النموات الخضرية فى إحدى الصور الموضحة فى جدول (٢- ٣)، والتى تُبين تفاصيل تركيبها الكيميائى وذوبانها فى الماء فى جدول (٢-٤).

جدول (٢-٣): الأسمدة المستخدمة كمصادر للعناصر الغذائية غير النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم.

العنصر والسماد ونسبة العنصر فى السماد	الكمية المناسبة عند التسميد عن طريق	
	التربة (كجم / فدان)	رشا (كجم / ٤٠٠ لتر ماء)
الكالسيوم		
الجبس الزراعى ٢٢,٥٪ كالسيوم — السوبر فوسفات العادى (٢٠,٤٪ كالسيوم — تربل سوبر فوسفات (١٤٪ كالسيوم)	تختلف الكمية حسب السماد والغرض من الاستعمال	–
كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ (يحوى ٣٦,١٪ كالسيوم)	–	٢,٥ – ٥
نترات الكالسيوم $Ca(NO_3).2H_2O$ (يحوى ٢٠٪ كالسيوم)	–	٢,٥ – ٥
المغنيسيوم:		
كبريتات المغنيسيوم $MgSO_4.\ 7H_2O$ (يحوى ٩,٨٪ مغنيسيوم)	٧٥ — ١٠٠	٥ – ٧
الكبريت		
سلفات الأمونيوم — سلفات البوتاسيوم — الجبس الزراعى — السوبر فوسفات.	تختلف الكمية حسب السماد والغرض من الاستعمال	–
الحديد		
كبريتات الحديدوز $FeSO_4.\ 7H_2O$ (يحوى ٢٠٪ حديدًا)	٥ — ١٠	١ — ١,٥
حديد مخلبى EDTA (يحوى ٩– ١٢٪ حديدًا)	٩– ١٨	٠,٢٥ — ٠,٥
حديد مخلبى EDTA (يحوى ٦٪ حديدًا)	–	٠,٥
النحاس		
كبريتات النحاس $CuSO_4.5H_2O$ (يحوى ٢٥,٥٪ نحاسًا)	١٢– ٢٤	١ — ٢,٥
أكسيد النحاس CuO (يحوى ٧٩,٦٪ نحاسًا	٤ — ٨	–
نحاس مخلبى EDTA (يحوى ١٣٪ نحاسًا)	–	٠,٢٥ — ٠,٥
الزنك		
كبريتات الزنك $ZnSO_4.7H_2O$ (يحوى ٢٢,٧٪ زنكًا)	٥ — ٢٠	١– ٢
زنك مخلبى EDTA (يحوى ١٠٪ زنكًا)	٧ — ١٨	٠,٢٥ — ٠,٥
المنجنيز		
سلفات المنجنيز $MnSO_4.4H_2O$ (يحوى ٢٤,٦٪ منجنيزًا)	١٠ — ١٥	١ — ٢
منجنيز مخلبى EDTA (يحوى ١٢٪ منجنيزًا)	–	٠,٢٥– ٠,٥

يتبع

تابع جدول (٢-٣).

العنصر والسماد ونسبة العنصر فى السماد	الكمية المناسبة عند التسميد عن طريق	
	التربة (كجم / فدان)	رشا (كجم / ٤٠٠ لتر ماء)
الموليبدنم		
موليبدات الأمونيوم $(NH_4)_2MO_7O_4$ (يحوى ٤٨,٩٪ موليبدنم)	١ — ٢	٠,١٢٥ — ٠,٢٥
موليبدات الصوديوم $Na_2MO_4.2HO$ (يحوى ٣٩,٧٪ موليبدنم)	٠,٢٥ — ٠,٥	٠,١٢٥ — ٠,٢٥
البورون		
البوراكس $Na_2B_4O_7.10H_2O$ (يحوى ١٠,٦٪ بورون)	٥ — ١٢	١ — ٢,٥
حامض بوريك H_3BO_3 (يحوى ١٧٪ بورون)	-	١ — ١,٥

جدول (٢-٤): التركيب الكيميائى للمصادر السمادية للعناصر الدقيقة ودرجة ذوبانها فى الماء (Hanan ١٩٩٨).

العنصر الدقيق	الاسم الكيميائى	التركيب الكيميائى	الذوبان
البورون	البوراكس اللامائى Anhydrous borax	$Na_2B_4O_7$	ذائب
	البورات Fertilizer borate	$Na_2B_4O_7.5H_2O$	ذائب
	البوراكس Borax	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	ذائب
	حامض البوريك Boric acid	H_3BO_3	ذائب
	كوليمانيت Colemanite	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	ذائب قليلاً
النحاس	كبريتات النحاسيك Cupric sulfate	$CuSO_4.H_2O$	ذائب
	الفيترول الأزرق Blue vitrol	$CuSO_4.5H_2O$	ذائب
	أكسيد النحاسيك Cupric oxide	CuO	غير ذائب
الحديد	كبريتات النحاسور Ferrous sulfate	$FeSO_4.H_2O$	ذائب
	كبريتات النحاسوز Ferrous sulfate	$FeSO_4.7H_2O$	ذائب
	كبريتات النحاسيك Ferric sulfate	$Fe2(SO_4)_3.9H_2O$	ذائب
	كبريتات النحاسوز والأمونيوم Ferrous-ammonium	$FeSO_4.(NH_4)_2SO_4$	ذائب
المنجنيز	كبريتات المنجنيز Manganous sulfate	$MnSO_4.xH_2O$	ذائب
	ثانى كلوريد المنجنيز Manganese dichloride	$MnCl_2.4H_2O$	ذائب
	كبريتات المنجنيز Manganous carbonate	$MnCO_3$	غير ذائب

يتبع

تابع جدول (٢-٤).

العنصر الدقيق	الاسم الكيميائى	التركيب الكيميائى	الذوبان
	أكسيد المنجنيز Manganous oxide	MnO	غير ذائب
	أوكسى كبريتات المنجنيز Mangnese oxysulfate	متباين	يتباين
الموليبدنم	موليبدات الصوديوم Sodium molybdate	Na_2MoO_4	ذائب
	موليبدات الصوديوم Sodium molybdate	$Na_2MoO_4.2H_2O$	ذائب
	موليبدات الأمونيوم Ammonium molybdate	$(NH_4)_2MoO_4$	ذائب
	Molybdic anhydride	MoO_3	ذائب قليلاً
	موليبدات الكالسيوم Calcium molybdate	$CaMoO_4$	غير ذائب
الزنك	كبريتات الزنك Zinc sulfate	$ZnSO_4.H_2O$	ذائب
	كبريتات الزنك Zinc sulfate	$ZnSO_4.7H_2O$	ذائب
	كلوريد الزنك Zinc chloride	$ZnCl_2$	ذائب
	كربونات الزنك Zinc carbonate	$ZnSO_4.4Zn(OH)_2$	ذائب قليلاً
	أكسيد الزنك Zinc oxide	$ZnCO_3$	غير ذائب
	أوكسى كبريتات الزنك Zinc oxusulfate	ZnO	غير ذائب
		متباين	يتباين

الأسمدة الكيميائية المركبة

تحتوى الأسمدة المركبة على أكثر من عنصر سمادى، وتحضر بخلط اثنين أو أكثر من الأسمدة البسيطة معًا بنسب معينة وبصورة متجانسة؛ بحيث يحتوى السماد المركب على نسبة معينة من كل من العناصر السمادية المرغوبة.

مصطلحات خاصة بالأسمدة المركبة

فيما يلى بعض المصطلحات المستخدمة فى وصف الأسمدة المركبة:

درجة السماد أو تحليل السماد Fertilizer grade or analysis

تحليل السماد هو النسبة المئوية لكل من النيتروجين (N)، والفوسفور فى صورة P_2O_5، والبوتاسيوم فى صورة K_2O فى السماد المركب، ويعبر عنها بثلاثة أرقام؛ مثل: ٥- ١٠- ٥؛ حيث تشير الأرقام الثلاثة إلى النسب المئوية لكل من: النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم فى السماد على التوالى. وقد يوجد أحيانًا رقم رابع يشير إلى

النسبة المئوية للمغنيسيوم فى صورة مع MgO، ورقم خامس يشير إلى النسبة المئوية للكالسيوم فى صورة CaO.

والسماد المركب قد يكون ذا تحليل منخفض إذا كان مجموع النسب المئوية لعناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم به ٢٠ أو أقل. وقد يكون ذا تحليل مرتفع إذا زاد مجموع هذه النسب على ٢٠.

المعادلة السمادية Fertilizer formula:

هى الكميات الفعلية من المركبات الداخلة فى تركيب طن من السماد المركب، وقد يعبر عن هذه الكميات كنسب مئوية أيضًا. ويطلق على مصادر العناصر السمادية فى السماد المركب اسم المواد الحاملة carriers.

الوحدة السمادية

هى كمية العنصر السمادى (النيتروجين، أو الفوسفور فى صورة P_2O_5 ، أو البوتاسيوم فى صورة K_2O) التى توجد فى ١٠ كجم من السماد (١٪ من الطن).

النسبة السمادية Fertilizer Ratio

هى نسبة العناصر السمادية الثلاثة (النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم) إلى بعضها البعض فى السماد المركب. فمثلاً .. عندما يكون تحليل السماد ٥–١٠–٥ تكون نسبته السمادية ١–٢–١.

وتتوقف النسبة السمادية التى يوصى بها على العوامل التالية:

١– الظروف البيئية:

تقل نسبة الآزوت فى الجو الملبد بالغيوم.

٢– المحصول المزروع:

تزيد نسبة الآزوت للمحاصيل الورقية، ونسبة الفوسفور للمحاصيل الثمرية، ونسبة البوتاسيوم للمحاصيل الجذرية والورقية.

٣- طبيعة التربة:

تزيد نسبة البوتاسيوم فى الأراضى الرملية، وتزيد نسبة الفوسفور فى الأراضى الثقيلة، وتقل نسبة الآزوت فى الأراضى العضوية.

٤- كمية ونوع الأسمدة المستخدمة:

تجب مراعاة زيادة نسبة الفوسفور عندما تكون الأرض حديثة العهد بالتسميد؛ أى لم يسبق تسميدها كثيرًا من قبل، وكذلك عند استعمال الأسمدة العضوية.

تحضير السماد المركب

يحضر السماد المركب بخلط عدد من الأسمدة البسيطة بكميات محسوبة مقدمًا حسب تحليل السماد المراد تحضيره، ومعادلته، ونسبته السمادية.

مثال: احسب الكميات اللازمة لتحضير سماد مركب تحليله ٥-٩-٥، مع استخدام سلفات النشادر (٢٠٪ N)، والسوبر فوسفات (١٥٪ P_2O_5)، وسلفات البوتاسيوم (٥٠٪ K_2O) فى تحضير السماد.

يحتوى الطن من هذا السماد على: ٥٠ كجم N، و٩٠ كجم P_2O_5، و٥٠ كجم K_2O. وهذه الكميات يمكن الحصول عليها بخلط:

٢٥٠ كجم سلفات نشادر.

٦٠٠ كجم سوبر فوسفات.

١٠٠ كجم سلفات بوتاسيوم.

تخلط هذه الكميات من الأسمدة معًا، ويضاف إليها نحو ٥٠كجم من الرمل ليصل الوزن إلى طن. ويفضل عند تحضير السماد المركب جعل النيتروجين من مصدرين: أحدهما قابل للذوبان والامتصاص بسرعة، والآخر بطئ الذوبان. كما يفضل جعل الأسمدة مركزة قدر المستطاع، مع استخدام أسمدة بسيطة غنية بالعناصر عند تحضير السماد المركب.

وعند خلط الأسمدة يراعى أن بعضها يكون متحجرًا ؛ كالسوبر فوسفات، وبعضها تتجمع حبيباته، مكونة كتلاً أكبر، كسلفات النشادر. وهذه يجب دقها جيدًا ونخلها لتسهيل عملية الخلط. كما تجب مراعاة أن بعض الأسمدة لا يجوز خلطها؛ لأنها تتفاعل بعضها مع بعض؛ مما يؤدى إلى تحول بعض العناصر إلى صور غير ذائبة.

ويفيد جدول (٢–٥) فى حساب كميات الأسمدة البسيطة اللازمة لتحضير الأسمدة المركبة. كما يبين جدول (٢–٦) كيفية تحويل محتوى السماد من العنصر إلى صورته الشائعة الاستعمال (مثل K إلى K_2O) والعكس.

جدول (٢–٥): طريقة حساب الكميات اللازمة من الأسمدة البسيطة إذا عرفت الكميات المطلوبة من العناصر أو العكس (عن Mastalerz ١٩٧٧، و Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

تضرب الكمية المطلوبة من	فى	للحصول على الكمية المطلوبة من
الأمونيا NH_3	٠,٨٢٣	نيتروجين N
نترات الأمونيوم NH_4NO_3	٠,٣٥٠	نيتروجين N
كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$	٠,٢١٢	نيتروجين N
بوراكس $Na_2B_4O_7.10H_2O$	٠,١١٤	بورون B
حمض بوريك H_3BO_3	٠,١١٧	بورون B
بورون B	٨,٨١٣	بوراكس $Na_2B_4O_7.10H_2O$
بورون B	٥,٧١٦	حمض بوريك H_3BO_3
كالسيوم Ca	٤,٢٩٥	كبريتات الكالسيوم (الجبس) $CaSO_4.2H_2O$
مغنيسيوم Mg	٤,٩٥١	كبريتات المغنيسيوم $MgSO_4$
كبريتات المغنيسيوم $MgSO_4$	٠,٢٠٢	مغنيسيوم Mg
منجنيز Mn	٢,٧٤٩	كبريتات المنجنيز $MnSO_4$
منجنيز Mn	٤,٠٦٠	كبريتات المنجنيز $MnSO_4.2H_2O$
كبريتات المنجنيز $MnSO_4$	٠,٣٦٤	منجنيز Mn
كبريتات المنجنيز $MnSO_4.4H_2O$	٠,٢٤٦	منجنيز Mn
ميورات البوتاسيوم KCl_2	٠,٦٣٢	بوتاس K_2O

يتبع

تابع جدول (٢-٥).

نضرب الكمية المطلوبة من	فى	للحصول على الكمية المطلوبة من
ميورات البوتاسيوم KCl_2	٠,٥٢٤	بوتاسيوم K
نترات NO_3	٠,٢٢٦	نيتروجين N
نترات البوتاسيوم NO_3	٠,٤٦٦	بوتاس K_2O
نترات البوتاسيوم NO_3	٠,٣٨٧	بوتاسيوم K
نترات الصوديوم $NaNO_3$	٠,١٦٥	نيتروجين N
نيتروجين N	١,٢١٦	أمونيا NH_3
نيتروجين N	٢,٨٥٦	نترات أمونيوم NH_3NO_3
نيتروجين N	٤,٧١٦	كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$
نيتروجين N	٤,٤٢٦	نترات NO_3
نيتروجين N	٦,٠٧١	نترات الصوديوم $NaNO_3$
فوسفات P_2O_5	٠,٤٣٧	فوسفور P
الفوسفور P	٢,٢٩١	فوسفات P_2O_5
بوتاس K_2O	١,٥٨٣	ميورات البوتاسيوم KCl
بوتاس K_2O	٢,١٤٦	نترات البوتاسيوم KNO_3
بوتاس K_2O	٠,٨٣٠	بوتاس K
بوتاس K_2O	١,٨٥٠	كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4
بوتاسيوم K	١,٩٠٧	ميورات البوتاسيوم KCl
بوتاسيوم K	٢,٥٨٩	نترات البوتاسيوم KNO_3
بوتاسيوم K	١,٢٠٥	بوتاس K_2O
بوتاسيوم K	٢,٢٢٩	كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4
كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$	٠,٢١٢	نيتروجين N
كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4	٠,٥٤٠	بوتاس K_2O
كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4	٠,٤٤٩	بوتاسيوم K

جدول (٢-٦): عوامل التحويل بين الصور الكيميائية للعناصر السمادية يؤدى ضرب القيمة التى فى العمود الأيسر (ppm أو كجم أو جم ... إلخ) فى القيمة التى بالعمود الأوسط إلى الحصول على القيمة المساوية لها بالصورة التى فى العمود الأيمن. وللتحويل العكسى تقسم القيمة التى فى العمود الأيمن على القيمة التى فى العمود الأوسط للحصول على القيمة المساوية لها فى العمود الأيمن (Hanan ١٩٩٨).

تضرب هذه الصورة	فى هذا الرقم	للحصول على هذه الصورة
Ca_2^+ (كالسيوم)	١,٣٩٩	CaO (كاسيد الكالسيوم او الجير)
Ca_2^+	٢,٤٩٦	$CaCO_3$ (كربونات الكالسيوم أو الكالسيت)
CaO (الكلس أو الجير)	٠,٧١٥	Ca^{2+}
CaO	١,٧٨٤	$CaCO_3$
$CaCO_3$	٠,٤٠٠	Ca^{2+}
K^+ (البوتاسيوم)	١,٢٠٤	K_2O (بوتاس)
K_2O (بوتاس)	٠,٨٣٠	K^+
KCl (مبورات البوتاس)	٠,٦٣٢	K_2O
K_2O	١,٥٨٣	KCl (ميورات البوتاسيوم أو كلوريد البوتاسيوم)
K_2SO_4 (كبريتات البوتاسيوم)	٠,٥٤١	K_2O
K_2O	١,٨٤٩	K_2SO_4
Mg_2^+ (المغنيسيوم)	١,٦٥٨	MgO (أكسيد المغنيسيوم أو البريكليز periclase)
MgO	٠,٦٠٣	Mg^{2+}
$MgSO_4$ (كبريتات المغنيسيوم)	٠,٣٣٥	MgO
MgO	٢,٩٨١	$MgSO_4$ (كبريتات المغنيسيوم)
MgO	٢,٠٩٢	$MgCO_3$ (كربونات المغنيسيوم أو الماجنيزيت magnesite)
N (النيتروجين)	٤,٤٢٥	NO_3^- (النترات)
N	١,٢٨٦	NH_4^+ (الأمونيوم)
N	٦,٠٦٧	$NaNO_3$ (نترات الصوديوم)
N	٧,٢١٨	KNO_3 (نترات البوتاسيوم)
N	٤,٧١٧	$(NH_4)_2SO_4$ (كبريتات الأمونيوم)
NO_3^-	٠,٢٢٦	N
NH_4^+	٠,٧٧٨	N

يتبع

تابع جدول (٢-٦).

تضرب هذه الصورة	فى هذا الرقم	للحصول على هذه الصورة
$(NH_4)_2SO_4$	٠٫٢١٢	N
$NaNO_3$	٠٫١٦٥	N
P (الفوسفور)	٢٫٢٨٨	P_2O_5 (خامس أكسيد الفوسفور)
P_2O_5	٠٫٤٣٧	P
H_2PO_4 (أورثوفوسفيت)	٠٫٣٢٠	P
P	٣٫١٣١	$H_2PO_4^-$
S (الكبريت)	٢٫٩٩٤	SO_4^{2-}
SO_4^{2-}	٠٫٣٣٤	S

الأسمدة البطيئة الذوبان والتيسر

الأسمدة البطيئة الذوبان والتيسر Slow Release Fertilizers إما أنها أسمدة ذات قابلية ضعيفة جدًّا للذوبان فى الماء، وإما أنها أسمدة تتيسر فيها العناصر الغذائية فى صورة صالحة للامتصاص ببطء شديد، وفى كلتا الحالتين تتيسر العناصر الغذائية للنبات بقدر حاجته إليها، وعلى مدى فترة زمنية طويلة تمتد من ثلاثة أسابيع إلى عدة سنوات؛ الأمر الذى يقلل كثيرًا من فرصة تثبيتها فى التربة، ومن فقدها فى ماء الصرف. وفيما يلى شرح لبعض أنواع الأسمدة البطيئة الذوبان والتيسر.

الأسمدة المخلبية

الأسمدة المخلبية Chelated Fertilizers هى أسمدة توجد فيها العناصر الضرورية للنبات فى صورة مركبات مخلبية chelated compounds أو Sequestring agents.

والمركبات المخلبية عبارة عن مركبات عضوية حلقية مرتبطة بمعدن أو اكثر بشدة تتفاوت من مركب مخلبى لآخر. وهى قابلة للذوبان فى الماء. والمستعمل منها فى الأغراض الزراعية يتحلل فى الماء ببطء شديد. وتعمل المركبات المخلبية على منع تثبيت العناصر فى التربة. فبرغم قابليتها للذوبان فى الماء، إلا أنها بطيئة التحلل بدرجة كبيرة؛ وبذلك يتيسر العنصر لامتصاص النبات، دون أن يفقد بالتثبيت. هذا.. وتدمص المركبات المخلبية على سطح حبيبات الطين.

ومن المركبات المخلبية الشائعة الاستعمال فى الزراعة ما يلى (عن Hanan ١٩٩٨):

اختصار الاسم	المركب
BPDS	Bathophenanthrolinedisulfonic acid
CIT	Citric acid [(COOH)CH_2C(OH)(COOH)CH_2COOH]
CDTA (DCTA)	*Trans*-1,2-Cyelohexylenetrinitrilotetraacetic acid
DTPA (Fe 330)	Dirthylenetrinitrilopentaacetic acid
EDDHA (EHPG, APCA, Fe 138)	Ethylenediiminobis (2-hydroxyphenyl)acetic acid
EDMA	Ethylenediaminemonoacetic acid
EDDA	Ethylenediamine-N,N'-diacetic acid
EDTA (Sequestrene, versone)	Ethylenedinitrilotetraacetic acid
ED3A	Ethylenedinitrilotriacetic acid
EGTA	Ethylenebis(oxyethlenetrinitrilo)tetraacetic acid
HBED	N,N'-bis(2-hydroxybenzyl)ethylenedinitrilo-N,N'-diacetic acid
HEDTA (HEEDTA, Versonal, Perm. Green)	N-(2-hydroxyethyl)ethlenedinitrilotracetic acid
HIDA (HEIDA)	N-(2-hydroxyethyl)iminodiacetica acid
IDA	Iminodiacetic acid
NTA	Nitrilotriacetic acid

هذا .. وتوجد المواد المخلبية إما فى صورة أحماض، وإما فى صورة ملح الصوديوم. والعناصر المخلوبة عادة هى: الحديد، والمنجنيز، والنحاس، والزنك، والكوبالت.

وتضاف المركبات المخلبية عن طريق التربة؛ حيث تعطى نتائج أفضل، ولمدة طويلة، عما فى حالة إضافتها بطريق الرش، إلا أنه يمكن استعمالها رشاً بتركيزات مخففة مع الرش الدورى لمكافحة الآفات (Tisdale & Nelson ١٩٧٥).

وتحتوى الأسمدة المخلبية — عادة — على العناصر الدقيقة بالنسب التالية:

السماد	العنصر (٪)
الحديد المخلبى	١٣,٢
المنجنيز المخلبى	١٣
النحاس المخلبى	١٤
الزنك المخلبى	١٥

سماد الأزموكوت

يحتوى سماد الأزموكوت Osmocote — وهو مُنتج تجارى لشركة Sierra Chemical Co., Militas, California — البطئ الذوبان والتيسر على عناصر: النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والمغنيسيوم، كما توجد منه تحضيرات تحتوى أيضًا على عناصر: الحديد، والموليبدنم، والبورون، والمنجنيز، والزنك، والنحاس.

وتمتد فترة تحرير المواد الغذائية من حبيبة السماد من ٢-١٨ شهرًا. ولا يغسل السماد من التربة بالرى الغزير، كما لا يتأثر السماد بنوع التربة، أو درجة حموضتها، أو ظروفها الحيوية. وتتأثر فترة فاعلية الأنواع المختلفة من الأزموكوت بدرجة الحرارة فقط؛ إذ إن درجة الحرارة المرتفعة تسبب تحرر السماد بسرعة. ودرجة الحرارة المنخفضة تجعل التحرر يتم ببطء، كما هو مبين فى جدول (٢-٧).

جدول (٢–٧): تأثير درجة الحرارة على مدة فاعلية الأنواع المختلفة من أسمدة الأزموكوت.

سماد الأزموكوت	مدة الفاعلية بالشهر فى حرارة تربة (°م)		
	١٦	٢١	٣٢
١٤ + ١٤ + ١٤	٤ – ٥	٣ – ٤	١ – ٢
١٦ + ١٨ + ٥ + حديد	١٠ – ١١	٨ – ٩	٥ – ٦
١٦ + ١٧ + ٥ + حديد	١٥ – ١٦	١٢ – ١٤	٧ – ٨
١٦ + ١٦ + ٥ حديد	٢٠ – ٢١	١٦ – ١٨	١٠ – ١٢
٣٢ + ١ + ٢ + حديد	١٥ – ١٦	١٢ – ١٤	٧ – ٨
(أزموكوت زائد):			
١٥ + ١١ + ١٣ + ٢ مع أ + عناصر دقيقة	٤ – ٥	٣ – ٤	١ – ٢

وتحتوى أسمدة الأزموكوت على العناصر السمادية مغلفة بقشرة راتنجية (عضوية) داخل كبسولات قطرها نحو ٣ مم، أو أقل. وتخلط هذه الأسمدة مع بيئة نمو الجذور.

وعند الرى يمر بخار الماء بين حبيبات التربة إلى داخل الكبسولات من خلال ثقوب صغيرة بها. وبالداخل يتكثف بخار الماء على السماد؛ فيقل ضغط بخار الماء؛ الأمر الذى يتبعه دخول بخار ماء جديد إلى الكبسولة، وهكذا إلى أن يتكثف داخل الكبسولة قدر من الماء يكفى لإذابة السماد. ومع ازدياد دخول الماء يتولد ضغط داخلى يؤدى إلى تمدد جدار الكبسولة واتساع الثقوب؛ فيخرج السماد منها ببطء للخارج.

ومن التحضيرات التجارية الأخرى لأسمدة الأزموكوت ما يلى:

تحليل السماد	مدة الفاعلية فى حرارة ٢١°م (شهر)
١٩ – ٦ – ١٢	٣ – ٤
١٣ – ١٣ – ١٣	٨ – ٩
١٨ – ٦ – ١٢	٨ – ٩
١٧ – ١٧ – ١٢	١٢ – ١٤
٤٠ – صفر – صفر	٣ – ٤

اليوريا المغطاة بالكبريت

اليوريا المغطاة بالكبريت Sulfur-Coated Urea (SCU) عبارة عن سماد يوريا مغطى بغطاء كبريتى. وغالبًا ما يضاف إلى السماد بعض المواد المانعة لنشاط الكائنات الدقيقة microbiocides؛ مثل الـ pentachlorophenol لتقليل سرعة التحلل البيولوجى للغطاء الكبريتى. وتحتوى هذه الأسمدة غالبًا على حوالى ٣٦٪ نيتروجينًا، و١٧٪ كبريتًا، و٣٪ شمعًا، و٠٫٢٪ microbiocide، و١٫٨٪ conditioner.

وعند إضافة هذه الأسمدة، فإن نسبة كبيرة من النيتروجين تتيسر خلال الأسبوع الأول؛ ويرجع ذلك إلى عدم اكتمال الغطاء الكبريتى حول بعض الحبيبات. وتذكر هذه النسبة عادة فى اسم التحضير التجارى. فمثلاً SCU-10 يعنى أن ١٠٪ من النيتروجين يتيسر خلال الأسبوع الأول، وSCU-26 يعنى أن ٢٦٪ من النيتروجين يتيسر خلال الأسبوع الأول... وهكذا. وتتيسر خلال الأسبوعين التاليين نسبة أقل من النيتروجين نتيجة اكتمال تكون الغطاء الكبريتى غير المنفذ للماء. ويطلق على هذه الفترة اسم "lag period".

يبدأ بعد ذلك ظهور تأثير التحلل البيولوجى للغطاء الكبريتى؛ حيث تصل الرطوبة إلى اليوريا، ويخرج محلول اليوريا من الثقوب الدقيقة التى تحدث بالغطاء. وتتوقف سرعة تحلل الغطاء الكبريتى — إلى حد كبير — على رطوبة وحرارة التربة، فتزداد مع ارتفاع الرطوبة ومع ارتفاع درجة الحرارة (الـ Q_{10} لذلك = خمسة)، ويبلغ مقدار تيسر النيتروجين خلال تلك الفترة حوالى ١٪ يوميًا.

ومن أوائل الأسمدة التى أنتجت من هذه النوعية السماد Gold-N، وتركيبه: ٣٢٪N، و٣٠٪S، و٢٪ شمعًا (عن Nelson ١٩٨٥).

ويفيد استعمال سماد اليوريا المغطاة بالكبريت — خاصة — عند انخفاض معدلات التسميد (Brown وآخرون ١٩٨٨).

اليوريا فورمالدهيد Urea formaldehyde

تتوفر اليوريا فورمالدهيد تحت أسماء تجارية مختلفة؛ منها: اليورميت Urmite، واليوريا فورم Ureaform، وبها ٣٨٪N يتيسر نحو ثلثيه في السنة الأولى، والباقي ببطء في السنوات التالية. ويوجد معظم المركب في صورة سلاسل كيميائية طويلة لا يمكن للنبات امتصاصها، ولكن الكائنات الدقيقة التي توجد بالتربة تعمل على تحليل هذه السلاسل؛ فتفصل اليوريا التي يمكن للنبات أن يمتصها بسهولة.

ويستخدم هذا السماد بصفة خاصة في المسطحات الخضراء .

وتحضر اليوريا فورم Ureaform بتفاعل اليوريا مع الفورمالدهيد.

الأيزوبيوتيليدين دايوريا Isobutylidene Diurea

ينشأ هذا المركب من التفاعل بين اليوريا والأيزوبيوتيلداهيد Isobutylaldehyde. وهو بطئ الذوبان للغاية، وتبعًا للتركيب الكيميائي، فإنه يحتوى على ٣٢٫٢٪ نيتروجينًا، ولكن التحضير التجاري يحوى ٣٠٪ فقط بسبب وجود الشوائب. ويزداد ذوبان السماد مع ارتفاع درجة الحرارة، كما يتوقف أيضًا على حجم وصلابة حبيبات السماد (جدول ٢-٨).

جدول (٢-٨): تأثير قطر الحبيبات على سرعة تيسر اليوريا فى سماد الأيزوبيوتيلدين دايوريا.

اليوريا الميسرة	خلال فترة (أسبوع)	عندما يكون قطر الحبيبات (مم):
٧٥	١٠	٠,٦- ٠,٧
٥٨	٢١	١,٠- ١,٢
٥٠	٣٢	١,٧- ٢,٠

وقد أحدث استخدام السماد البطئ التيسر polymerase coated urea فى تسميد البصل زيادة دراماتيكية فى استخدام النبات للنيتروجين مع زيادة فى محصول الأبصال (Drost وآخرون ٢٠٠٢).

الأسمدة البطيئة التيسر ذات الأصل الحيوانى

من هذه الأسمدة ما يلى (عن White ١٩٩٧):

السماد	محتوى النيتروجين (%)
نفايات الصرف التى لا استعمال لها	٢ - ١٥
الدم المجفف	حوالى ١٣
مسحوق الحوافر والأظلاف والقرون	٧ - ١٦

ويبين جدول (٢-٩): أمثلة لبعض الأسمدة بطيئة التيسر العضوية وغير العضوية ومحتواها من مختلف العناصر وبعض خصائصها (Hanan ١٩٩٧).

جدول (٢-٩): أمثلة لبعض الأسمدة بطيئة التيسر وخصائصها ومحتواها من مختلف العناصر.

النوع	الاسم	الاسم التجاري أو الرمز	العوامل المسببة لتحرر السماد	تأثير الحرارة على تيسر السماد	المحتوى ومدة تيسر السماد
العضوى	Urea formaldehyde	Nitro-form,(UF): Several polymers- i.e. methylene-,di-,tri-,and tetramethylene diurea	النشاط الميكروبى	عال	٣٨٪ N - أسابيع قليلة إلى شهور
	ISO-butylidene diurea	(IBDU)	حجم الحبة والتحلل	قليل	٣٢٪ N
	Crotonylidene diuera	Triabon, Crotodur, (CDU)	النشاط الميكروبى وحجم الحبة	عال	28% N,16-18-12-4 [a]
	Diamide of oxalic acid	Oxamide	حجم الحبة والتحلل	قليل	32 %N
	Sulfur-coated urea	Gold-In(SCU):microbicide may be included	درجات مختلفة من التحلل	قليل	حتى ٨ أسابيع بمعدل ١ أو ٥ أو ٦٪ يوميًا
غير العضوى	Polyolefin-coated	Nutricote	الغشاء وحجم الثقوب وأعدادها	عال	١٠٠- ٣٠٠ يوم
	Co-polymers of dicyclopentadine and glycerol ester	Osmocote	الغشاء وحجم الثقوب وأعدادها	عال	عدة تراكيب 14-14-14,15-11-13-2,18-6-12,3-9 mo
	Magnesium-ammonium-phosphate	Magamp (7-40-6-12)[b], Enmag (6-20-10-8.5[b])	حجم الحبة	قليل	
	Dicalcium phosphate		حجم الحبة	قليل	
	Frits: K, mainly micronutrients. Componds fused with sodium silicate	Potassium frit, 29% K FTE253A (2-B, 2-Cu, 12-Fe, 5-Mn, 0.13- Mo, 4-Zn[c]), #36(0.5-B, 2-Cu, 9-Fe,2-Mn, 0.5-Mo, 2-Zn[c])	حجم الحبة والـ pH	قليل	عدة تراكيب

a - القيم هى نسب N، وP_2O_5، K_2O، وMgO فى التحضير التجارى.

b- القيم هى نسب N، وP_2O_5، K2O ، و Mg فى التحضير التجارى.

C- الأرقام هى نسب العناصر فى الفريتة الزجاجية.

ولمزيد من التفاصيل حول الأسمدة البطيئة التحرر (التيسر) .. يراجع Shaviv (٢٠٠١).

المحاليل أو الأسمدة البادئة

المحاليل البادئة Starter Solutions أو الأسمدة البادئة Starter Fertilizers عبارة عن محاليل سمادية تضاف إلى التربة فى مكان شتل البادرات أثناء عملية الشتل بمعدل ١/٨ لتر للنبات.. ويحتاج الفدان إلى حوالى ٨٠٠ — ١٢٠٠ لتر منها حسب كثافة الزراعة.

ويمكن تحضير المحاليل البادئة من الأسمدة البسيطة، أو من الأسمدة المركبة. وتحضر المحاليل البادئة بإذابة نحو ٢,٥ كجم من سماد تحليله ٥ — ١٠ — ٥، أو ٥ — ١٠ — ١٠ فى نحو ٢٠٠ لتر ماء. والمحاليل البادئة المثالية هى التى تحضر من مركبات غنية بالفوسفور؛ وتحوى نيتروجينًا فى صورة فوسفات أحادى الأمونيوم، أو فوسفات ثنائى الأمونيوم.

ويفضل استعمال الأسمدة المركبة ذات التحليل المرتفع فى تحضير المحاليل البادئة؛ حتى لا تتخلف بعد إذابتها بقايا كثيرة غير ذائبة، لكن تجب مراعاة أن يكون المحلول نفسه مخففًا؛ لأن التركيزات العالية قد تضر جذور النباتات.

وفى حالة عدم توفر الأسمدة المركبة، فإنه يمكن تحضير المحاليل البادئة من الأسمدة البسيطة، وتستخدم لذلك سلفات النشادر بمعدل ١ كجم/ ٢٠٠ لتر ماء، أو نترات النشادر بمعدل ٧٠٠ جم/ ٢٠٠ لتر ماء، أو يوريا بمعدل ٥٠٠ جم/ ٢٠٠ لتر ماء. ويضاف إلى أى منها كيلوجرام واحد من كل من سلفات البوتاسيوم، وحامض الفوسفوريك.

وأفضل المحاليل البادئة هى تلك الغنية بالفوسفور الميسر، والتى يكون النيتروجين والبوتاسيوم بها فى صورة أملاح فوسفات؛ مثل: فوسفات أحادى الأمونيوم، وفوسفات

ثنائى الأمونيوم، وفوسفات البوتاسيوم ثنـائى الأيـدروجين potassium dihydrogen phosphate.

ومن الأسمدة البادئة ذات التحليل المناسب سماد يعرف باسم "Plant Starter" يبلغ تحليله (١٠- ٥٢- ٨).

الأساس الفسيولوجى للاستجابة للأسمدة البادئة

إن البادرات الصغيرة تتطلب تركيزات من العناصر السمادية — لكل وحدة طولية من الجذر — أعلى مما تتطلبه النباتات الأكبر عمرًا؛ ولذا .. فإنها تكون أكثر استجابة لزيادة تركيز العناصر المغذية فى المحلول الأرضى، وهو الأمر الذى يحدث عند إضافة الأسمدة البادئة إليها. هذا بالإضافة إلى أن النمو الجذرى المحدود للبادرات الصغيرة يكون غالبًا بعيدًا عن الأسمدة المضافة نثرًا أثناء إعداد الحقل للزراعة.

وتمتص معظم النباتات الحولية — أو تلك التى تزرع كحولية — معظم احتياجاتها المغذية فى طور مبكر جدًا من النمو. وينطبق ذلك بصورة خاصة على الفوسفور. فامتصاص الفوسفور يكون بمعدل أعلى من معدل نمو النباتات فى بداية مراحل النمو. وكمتوسط عام .. فإن النبات يكون قد امتص عادة نحو ٥٠٪ من احتياجاته الكلية من الفوسفور عندما يكون قد أكمل نحو ٢٠٪ من نموه الكلى المتوقع. وتصاحب تلك السرعة فى امتصاص الفوسفور سرعة مماثلة فى امتصاص النيتروجين.

وعند توفر النيتروجين — وخاصة فى الصورة الأمونيومية، وبالذات عندما يكون مخلوطًا مع الفوسفور — فإنه يعمل على زيادة تيسر الفوسفور فى التربة، كما يزيد من كفاءة الجذور فى امتصاص الفوسفور، ولا سيما عندما يكون مستوى الفوسفور منخفضًا أصلاً فى التربة.

ونظرًا لأن الفوسفور يعمل على زيادة نمو الجذور عن نمو السيقان والأوراق، فإنه يعمل على سرعة تثبيت الشتلات فى التربة. كما يحدث نفس التأثير عند توفر

الفوسفور الميسر قريبًا من جذور البادرات بعد إنبات البذور. ويؤدى ذلك إلى سرعة النمو والإزهار والإثمار وزيادة المحصول. كما تصاحبه — أيضًا — زيادة فى امتصاص كافة العناصر الغذائية.

ويزداد وضوح تأثير المحاليل البادئة فى درجات الحرارة المنخفضة التى تقلل من نمو الجذور، ومن سرعة امتصاص الفوسفور. ويفسر ذلك أهمية المحاليل البادئة الغنية بالفوسفور فى فصل الشتاء وبداية الربيع (Wittwer ١٩٦٩).

ولا تقتصر فائدة استعمال المحاليل البادئة على الشتلات فقط؛ بل إنه يمكن استعمالها تحت مستوى البذور عند زراعة البذور مباشرة فى الحقل الدائم. ففى البصل .. أدى حقن محلول بادئ من فوسفات الأمونيوم تحت مستوى البذور — عند الزراعة — إلى زيادة محتوى البادرات من كل من الفوسفور والنيتروجين، مع نقص محتواها من البوتاسيوم. كما ازداد وزن النموات الخضرية — نتيجة لاستعمال السماد البادئ — بنسبة ٥٠٪، بما يعادل تقدمًا فى النمو لمدة ٣ — ٣,٥ يومًا. ومن التأثيرات الأخرى التى أحدثها السماد البادئ تبكير النضج بمقدار يتراوح بين يوم واحد ويومين ونصف اليوم، وخفض نسبة الأبصال ذات الرقاب السمكية، ولكن محصول الأبصال لم يتأثر باستعمال السماد البادئ (عن Brewster وآخرين ١٩٩١).

الأسمدة الورقية

يتوفر محليًا مئات من التحضيرات التجارية التى تستخدم كأسمدة ورقية رشًا على النباتات (الفولى ١٩٨٩). وتستخدم معظم هذه الأسمدة بتركيز ٠,١٥٪ للبادرات الصغيرة، ويزداد التركيز إلى ٠,٢٪ للنباتات المتقدمة فى النمو، وإلى ٠,٣٪ عند ظهور أعراض نقص العناصر. ويوصى — عادة — بالرش قبل الشتل بأسبوع، أو بعد الزراعة بنحو ٣ — ٤ أسابيع، ثم كل ٣ أسابيع بعد ذلك.

وتجدر الإشارة إلى أن جميع أنواع الأسمدة — التى تعرف بالورقية — تستعمل — كذلك — مع مياه الرى بالتنقيط، وكأسمدة بادئة، كما يستخدم بعضها فى تسميد

المشاتل بإضافتها مباشرة سواء أكانت فى صورة جافة، أم سائلة. وتصنف ضمن الأسمدة الورقية جميع الأسمدة المركبة الذائبة أو السهلة الذوبان فى الماء، سواء احتوت على عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم فقط، أم اشتملت كذلك على عناصر أخرى كبرى أو صغرى.

أنواع الأسمدة الورقية

تقسم الأسمدة الورقية — حسب محتواها من العناصر المغذية — إلى الفئات التالية:

١- أسمدة عناصر كبرى:

وهى تحتوى على العناصر الكبرى فقط، مع كميات ضئيلة من العناصر الصغرى (الحديد، والزنك، والمنجنيز، والنحاس)، توجد على صورة مخلبية، ولا تزيد فى مجموعها على ٢٪ من السماد.

٢- أسمدة عناصر صغرى مفردة مخلبية.

٣- أسمدة عناصر صغرى مركبة مخلبية:

تحتوى هذه الأسمدة على العناصر الصغرى فقط، وقد يتوفر معها — كذلك — عنصر الآزوت للمساعدة فى امتصاص العناصر الصغرى.

٤- أسمدة عناصر كبرى وصغرى:

وهى تحتوى على العناصر الكبرى، مع كميات من العناصر الصغرى الأساسية (الحديد، والزنك، والمنجنيز، والنحاس)، توجد على صورة مخلبية، وتزيد فى مجموعها عن ٢٪ من السماد.

٥- أسمدة عناصر صغرى معدنية.

وتشترك جميع هذه الأسمدة فى كونها إما سائلة، وإما سريعة الذوبان فى الماء، وتشترك كذلك فى احتوائها على العناصر المغذية فى صورة ميسرة لامتصاص النبات،

بحيث يسهل استعمالها رشًا على النموات الخضرية، كما يمكن استعمالها أرضًا، وخاصة بعد إذابتها في مياه الرى بالتنقيط.

خصائص الأسمدة الكيميائية

يتم التفضيل بين الأسمدة على أساس خصائصها: من حيث محتواها من العناصر الغذائية، وسرعة تيسرها للنبات، ودرجة ذوبان الأسمدة في الماء، وتأثيرها في ملوحة وحموضة التربة.

ذوبان الأسمدة فى الماء

تتوقف فاعلية السماد على درجة ذوبانه في الماء. وتزداد أهمية خاصية الذوبان هذه عند التسميد رشًا، أو عند تحضير المحاليل البادئة؛ حيث قد يتطلب الأمر تسخين الماء أولاً للمساعدة على إذابة الأسمدة البطيئة الذوبان. وتختلف الأسمدة البسيطة كثيرًا في مقدرتها على الذوبان في الماء، كما يتضح من جدول (٢-١٠) كالتالى:

١- لا يذوب أكسيد النحاس في الماء.

٢- يتحلل كل من سيناميد الكالسيوم، ومولبيدات الأمونيوم في الماء.

٣- أقل الأسمدة قابلية للذوبان في الماء هى: البوراكس(١٪)، والسوبر فوسفات العادى (٢٪)، والسوبر فوسفات الثلاثى (٤٪).

٤- أكثر الأسمدة قابلية للذوبان فى الماء هى: نترات الأمونيوم (١١٨٪)، وكبريتات المنجنيز (١٠٥٪)، ونترات الكالسيوم (١٠٢٪).

٥- تعتبر باقى الأسمدة عالية نسبيا في قابليتها للذوبان فى الماء، وتتراوح بين ١٣٪ في نترات البوتاسيوم و٧٨٪ في اليوريا.

جدول (٢-١٠): درجة ذوبان الأسمدة البسيطة فى الماء.

السماد	عدد أجزاء السماد التى يمكن إذابتها فى ١٠٠ جزء ماء
نترات الأمونيوم	١١٨
سلفات الأمونيوم	٧١
سيناميد الكالسيوم	يتحلل
نترات الكالسيوم	١٠٢
فوسفات الأمونيوم الأحادية	٢٣
فوسفات الأمونيوم الثنائية	٤٣
نترات الصوديوم	٧٣
نترات البوتاسيوم	١٣
السوبر فوسفات العادى	٢
السوبر فوسفات المركز (الثلاثى)	٤
اليوريا	٧٨
موليبدات الأمونيوم	يتحلل
البوراكس	١
كلوريد الكالسيوم	٦٠
أكسيد النحاس	صفر (غير قابل للذوبان)
كبريتات النحاس	٢٢
كبريتات الحديد	٢٩
كبريتات المغنيسيوم	٧١
كبريتات المنجنيز	١٠٥
كلوريد الصوديوم	٣٦
موليبدات الصوديوم	٥٦
كبريتات الزنك	٧٥
كلوريد البوتاسيوم	٣٥
كبريتات البوتاسيوم	٧

تأثير الأسمدة على ملوحة التربة

يؤدى استخدام الأسمدة إلى زيادة تركيز الأملاح فى المحلول الأرضى. ويعبر عن هذه الزيادة بدليل الملوحة Salt Index. ويقدر دليل الملوحة بإضافة السماد إلى التربة، وقياس الزيادة التى تحدث فى الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى، بالمقارنة بتلك التى تحدث عند إضافة وزن مماثل من نترات الصوديوم. وعلى ذلك.. فدليل الملوحة لسمادٍ ما هو النسبة المئوية للزيادة فى الضغط الأسموزى الناتج من استعمال هذا السماد، بالمقارنة بتلك التى تحدث عند إضافة وزن مماثل من نترات الصوديوم.

وتختلف الأسمدة كثيرًا فى خاصية دليل الملوحة؛ بما فى ذلك الأسمدة المركبة المتماثلة التحليل. وعمومًا .. فكلما ازداد تحليل السماد، انخفض دليل الملوحة لكل وحدة من السماد، كذلك فإن أملاح النيتروجين والبوتاسيوم ذات دليل ملوحة أعلى مما لأملاح الفوسفور.

هذا .. ويجب أن يؤخذ دليل الملوحة فى الحسبان عند إضافة الأسمدة قريبًا من البذور، وعندما تكون الملوحة مرتفعة أصلاً فى التربة أو فى ماء الرى (Tisdale & Nelson ١٩٧٥).

وعند مقارنة الأسمدة بعضها ببعض يجب أن يكون أساس المفاضلة بينها هو دليل الملوحة لكل وحدة سمادية.. فبعض الأسمدة — كنترات الأمونيوم، وكلوريد البوتاسيوم — ذات دليل ملوحة أعلى من نترات الصوديوم، ولكن كليهما أقل من نترات الصوديوم فى دليل الملوحة لكل وحدة من السماد. ويعتبر سماد نترات الصوديوم أعلى الأسمدة فى دليل الملوحة الجزئى (أى لكل وحدة من السماد)؛ ولذلك فإنه يتخذ أساسًا للمقارنة. ويوضح جدول (٢-١١) دليل الملوحة لأهم الأسمدة الشائعة الاستعمال.

جدول (٢-١١): دليل الملوحة Salt Index لأهم الأسمدة الشائعة الاستعمال (Balba ١٩٩٥).

السماد	دليل الملوحة	دليل الملوحة الجزئى لكل وحدة (١٠ كجم) من العنصر السمادى
نترات الأمونيوم	١٠٤,٧	٢,٩٩٠
فوسفات الأمونيوم	٢٦,٩	٢,٤٤٢
كبريتات الأمونيوم	٦٩	٣,٢٥٣
كربونات الكالسيوم (الحجر الجيرى)	٤,٧	٠,٠٨٣
سيناميد الكالسيوم	٣١	١,٤٧٦
نترات الكالسيوم	٥٢,٥	٤,٤٠٩
كبريتات الكالسيوم (الجبس)	٨,١	٠,٢٤٧
كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم (الحجر الجيرى الدولوميتى)	٠,٨	٠,٠٤٢
نترات الصوديوم	١٠٠	٦,٠٦٠
كلوريد البوتاسيوم (٦٣٪)	١١٤,٣	١,٨١٢
كلوريد البوتاسيوم (٦٠٪)	١١٦,٣	١,٩٣٦
كلوريد البوتاسيوم (٥٠٪)	١٠٩,٤	٢,١٨٩
نترات البوتاسيوم	٧٣,٦	٥,٣٣٦
كبريتات البوتاسيوم	٤٦,١	٠,٨٥٣
كلوريد الصوديوم	١٥٣,٨	٢,٨٩٩
السوبر فوسفات العادى (١٦٪)	٧,٨	٠,٤٨٧
السوبر فوسفات المركز (الثلاثى) (٤٨٪)	١٠,١	٠,٢١٠
اليوريا	٧٥,٤	١,٦١٨
الأمونيا اللامائية	٤٧,١	٠,٥٧٢
نترات الأمونيوم الجيرية	٦١,١	٢,٩٨٢
فوسفات ثنائى الأمونيوم	٢٩,٩	١,٦١٤
كاينيت kainite (١٣,٥٪)	١٠٥,٩	٨,٤٧٥
كاينيت (١٧,٥٪)	١٠٩,٤	٦,٢٥٣
فوسفات أحادى الأمونيوم	٣٤,٢	٢,٤٥٣
فوسفات أحادى الكالسيوم	١٥,٤	٠,٢٧٤
محلول النيتروجين (٣٧٪)	٧٧,٨	٢,١٠٤
محلول النيتروجين (٤٠٪)	٧٠,٤	١,٧٢٤
كلوريد الصوديوم	١٥٣,٨	٢,٨٩٩

تأثير الأسمدة على pH التربة

تؤدى إضافة بعض الأسمدة للتربة إلى حدوث تغير طفيف فى pH التربة بالزيادة أو بالنقصان. ويحدث ذلك بسبب امتصاص النباتات لأحد أيونات الملح السمادى بأكثر مما تمتص الأيون الآخر. ففى حالة الأسمدة ذات التأثير الحامضى يمتص النبات الكاتيون بدرجة أكبر مما يمتص الأنيون، ويحدث العكس فى حالة الأسمدة ذات التأثير القلوى؛ حيث يمتص النبات الأنيون بدرجة أكبر من درجة امتصاصه للكاتيون. ويؤدى استمرار استعمال أى من نوعى الأسمدة إلى تغير الحامضية أو القلوية.

ويعبر عن مدى التأثير الحامضى أو القلوى للسماد بكمية كربونات الكالسيوم (الحجر الجيرى) اللازمة لمعادلة التأثير الحامضى، أو لإحداث نفس التأثير القلوى لكمية مماثلة من السماد.

وتقسم الأسمدة من حيث تأثيرها على pH التربة إلى ثلاثة أقسام كالتالى:

١- أسمدة ليس لها تأثير على pH التربة؛ أى إنها متعادلة:

ومنها: نترات الأمونيوم — كبريتات الكالسيوم (الجبس) — ميورات البوتاسيوم — كبريتات البوتاسيوم — السوبر فوسفات العادى والثلاثى — كلوريد البوتاسيوم — كبريتات المغنيسيوم.

٢- أسمدة ذات تأثير قلوى:

يوضح جدول (٢-١٢) أنواع هذه الأسمدة، وكمية كربونات الكالسيوم التى تحدث تأثيرًا مماثلاً لـ ١٠٠ كجم من السماد.

جدول (٢-١٢): الأسمدة التأثير القلوى.

السماد	نسبة النيتروجين بالسماد	كمية كربونات الكالسيوم التى تكفى لإحداث تغير فى الـ pH مماثل لما يحدثه ١٠٠ كجم من السماد
سيناميد الكالسيوم	٢٢	٦٣
نترات الكالسيوم	١٥,٥	٢٠
نترات البوتاسيوم	١٣	٢٣
نترات الصوديوم	١٦	٢٩

٣- أسمدة ذات تأثير حامضى:

هى الأسمدة المفضلة فى الأراضى القلوية. ويوضح جدول (٢-١٣) أنواع هذه الأسمدة، وكمية كربونات الكالسيوم اللازمة لمعادلة التأثير الحامضى الذى يحدثه ١٠٠ كجم من السماد. ومن أهم المركبات الأخرى ذات التأثير الحامضى — والتى تستعمل كأسمدة، أو لإذابة الأملاح التى تسدّ النقاطات فى شبكة الرى بالتنقيط — كل من: حامض الفوسفوريك، وحامض النيتريك، وحامض الكبريتيك.

ويجب ألا تكون المفاضلة بين الأسمدة قائمة على أساس التأثير المطلق للأسمدة. على حموضة التربة، وإنما على أساس التأثير الحامضى أو القلوى لكل وحدة سمادية (١٪ من الطن، أو ١٠ كجم) (جدولا: ٢- ١٤ ، و٢- ١٥).

جدول (٢-١٣): الأسمدة ذات التأثير الحامضى.

السماد	نسبة النيتروجين بالسماد	كمية كربونات الكالسيوم (كجم) اللازمة لمعادلة التأثير الحامضى الذى يحدثه ١٠٠ كجم من السماد
نترات الأمونيوم	٣٣,٥	٦٠
فوسفات أحادى الأمونيوم	١١	٥٩
فوسفات ثنائى الأمونيوم	٢١	–
كبريتات الأمونيوم	٢٠,٥	١١٠
اليوريا	٤٦,٦	٨٤

جدول (٢-١٤): مقارنة الأسمدة ذات التأثير القلوى على أساس الوحدة السمادية.

السماد	كمية كربونات الكالسيوم اللازمة لإحداث تأثير قلوى مماثل للتأثير الذى يحدثه ١٠ كجم من النيتروجين
سيناميد الكالسيوم	٥٣,٥
نترات الكالسيوم	١٣,٥
نترات البوتاسيوم	١٨
نترات الصوديوم	١٨

جدول (٢-١٥): مقارنة الأسمدة ذات التأثير الحامضى على أساس الوحدة السمادية.

السماد	كمية كربونات الكالسيوم (كجم) اللازمة لمعادلة التأثير الحامضى الذى يحدثه ١٠ كجم من النيتروجين
نترات الأمونيوم	١٨
فوسفات أحادى الأمونيوم	٥٣,٥
كبريتات الأمونيوم	٥٣,٥
اليوريا	١٨

الأسمدة العضوية وأهميتها

أنواع الأسمدة العضوية ومحتواها من العناصر المعدنية

تتضمن الأسمدة العضوية كل مصادر العناصر المغذية التى يُحصل عليها من مصادر عضوية، سواء أكانت نباتية، أم حيوانية، أم ميكروبية. ويبين جدولا (٢-١٦)، و(٢-١٧) محتوى الأسمدة العضوية الرئيسية من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم أما جدول (٢-١٨) فيبين كميات العناصر الصغرى التي يوفرها إضافة ٤٥ طن من سبلة الماشية للهكتار، مقارنة بما تمتصه أربع زرعات محصولية متتابعة منها (White ١٩٩٧). ولإجراء الحسابات للفدان (عند التسميد بـ ٢٠ طن سبلة ماشية) تُقسم جميع الأرقام فى جدول (٢-١٨) على ٢,٣٨.

جدول (٢-١٦): مدى محتوى الأسمدة العضوية الرئيسية من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم، وكذلك النسبة الأكثر تكرارًا فى التحاليل (الـ median، وهى التى تظهر بين قوسين)، وذلك على أساس الوزن الرطب (White ١٩٩٧).

السماد	المادة الجافة	N	P	K
سبلة الماشية	١١ - ٩٢	٠,٢ - ٣,٥	٠,٠٤ - ٣,٥	٠,٠٨ - ٣,٦
	(٢٣)	(٠,٦)	(٠,٦)	(٠,٦)
سبلة الدواجن	٥ - ٩٦	٠,١ - ٦,٨	٠,٠٤ - ٣,٤	٠,٠٣ - ٣,٦
	(٢٩)	(١,٧)	(٠,٦)	(٠,٦)
بول الحيوانات	١ - ٦٠	٠,٠٠٥ - ٤,٨	٠,٠٠٠٢ - ١,١	٠,٠٠٠٨ - ٣,٥
	(٤)	(٠,٣)	(٠,٤)	(٠,٢٥)

يتبع

تابع جدول (٢-١٦).

السماد	المادة الجافة	N	P	K
ملاط[أ] الخنازير	١ – ٦٩	٠,٠١ – ٤,٨	٠,٠٠٤ – ٢,١	٠,٠١٧ – ٢,٧
	(٤)	(٠,٤)	(٠,٠٩)	(٠,٠١٧)
الكمبوست	٢٤ – ٩٥	١,١ – ٠,٦	٠,١٨ – ٠,٣٥	٠,١٧ – ٠,٧٥
	(٢٨)	(٠,٩)	(٠,٢٢)	(٠,٣٣)
وحل المجارى				
سائل مهضوم	٤	٠,٢	٠,١	٠,٠١
مهضوم ومجفف جزئيًا	٥٠	١,٥	٠,٥	–

أ– الملاط slurry الخاص بأى من الحيوانات الكبيرة هو خليط من الروث والبول وماء التنظيف فى أماكن تبرز الحيوانات.

جدول (٢-١٧): محتوى بعض الأسمدة العضوية من عناصر النيتروجين (N) والفوسفور (P_2O_5) والبوتاسيوم (K_2O) (Hanan ١٩٩٨).

المادة	الحموضة	التحليل[أ]	ملاحظات
وحل المجارى المنشط Activated sludge	حامضى	4-6,2-4,0	يمكن أن يحتوى على عناصر ثقيلة
مخلفات بنجر السكر Beet sugar residue	قاعدى	3-4,0,10	الكالسيوم أساسًا وآثار من العناصر الصغرى
بيومس الخروع Castor pumice	حامضى	5-6,0,0	سام للحيوانات
بودرة قشرة جوز الهند Cocoa shell meal	قاعدى	5 % total	
نفايات الكاكاو Cocoa tankage	قاعدى	4,1.5,2	قد تحتوى على ٢٠٪ جير
الدم المجفف Dried blood	حامضى	9-14,0,0	النيتروجين سريع التيسر
دقيق العظام المعادل بالبخار Steamed bone meal	قاعدى	2,25-30,0	٢٠٪ – ٣٠٪ كالسيوم
نفايات السمك Fish scrap	حامضى	9,7, آثار	
الزبالة Garbage tankage	قاعدى	متباين	
زرق الطيور البحرية Guano	حامضى	12,11,2	قد يحتوى على ٨٪ كالسيوم
بودرة الأظلاف والقرون Hoof and horn meal	—	13,0,0	
الأعشاب البحرية Kelp (seaweed)	—	2,1,4-13	

يتبع

هذه الصفحة غير موجودة من أصل المصدر

هذه الصفحة غير موجودة من أصل المصدر

الميكروبى؛ الأمر الذى ينعكس على النمو النباتى والمحصول (Gaskell وآخرون ٢٠٠٦).

وعلى الرغم من أن أى مواد عضوية غير متحللة تضاف إلى التربة سوف تتحلل مع الوقت، إلا أن لذلك الأمر مساوئه، مقارنة بإضافة المواد العضوية المتحللة. فمثلاً.. إذا أضيفت كميات كبيرة من المواد العضوية غير المتحللة، فإن الكائنات الدقيقة التى تقوم بتحليلها سوف تنافس النباتات المتواجدة على نيتروجين التربة أثناء عملية التحلل؛ الأمر الذى قد يؤدى إلى نقص النيتروجين وضعف النمو النباتى. كذلك يكون من الأسهل كثيرًا خلط المادة العضوية المتحللة بالتربة عما يكون عليه الحال مع المادة العضوية غير المتحللة.

هذا إلى جانب أن إضافة المادة العضوية وهى متحللة تعنى توفر العناصر الضرورية المتواجدة بها — مباشرة — للنمو النباتى، دونما حاجة إلى الانتظار لحين تمام تحللها، فضلاً عن تحسين المادة العضوية المتحللة لخصائص التربة الفيزيائية، مثل بناء التربة، ونفاذيتها، وسعتها التبادلية الكاتيونية، وقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة.

ويمكن إيجاز أهم مزايا المادة العضوية للتربة، فيما يلى:

١- تحسين الحالة الفيزيائية للتربة.

٢- تعد مصدرًا غذائيًّا للكائنات الدقيقة التى تعيش فى التربة، والتى تساعد فى تيسر العناصر.

٣- تساعد المادة العضوية للتربة على الاحتفاظ بالعناصر، فلا تتسرب مع ماء الرشح.

٤- تفرز البكتيريا التى تنمو على المادة العضوية مواد كربوهيدراتية معقدة تفيد فى لصق حبيبات التربة لتكوين تجمعات منها.

٥- تساعد الأحماض التى تنطلق أثناء تحلل المادة العضوية فى تيسر العناصر الضرورية للنمو النباتى.

٦- يمكن للماء تخلل التربة بصورة أفضل عند وجود المادة العضوية؛ مما يقلل من تعريتها.

٧- يتحسن تعمق الجذور فى التربة.

٨- تتحسن قدرة التربة الرملية على الاحتفاظ بالماء ضد الجاذبية.

٩- يتحسن الصرف فى الأراضى الثقيلة عندما يزداد التحبب فيها بفعل المادة العضوية.

١٠- تعد المادة العضوية ذاتها — بعد تحللها — مصدرًا لجميع العناصر الغذائية التى يحتاجها النبات، والتى تتيسر بصورة تدريجية أثناء النمو النباتى. ويعد هذا التيسر التدريجى من الأهمية بمكان بالنسبة لعنصر مثل النيتروجين (Harris وآخرون ٢٠٠٧).

ونظرًا لأن المادة العضوية للتربة تتحلل سريعًا فى الأجواء الحارة؛ لذا .. يلزم تكرار إضافتها سنويًا لتعويض ما ينقص منها بالتحلل.

تحلل المادة العضوية فى التربة

عند قلب المادة العضوية فى التربة، فإن نسبة الكربون إلى النيتروجين تكون — عادة — عالية فى البداية؛ حيث تبلغ نحو ٥٠ : ١. ومع تحلل المادة العضوية تنطلق كميات كبيرة نسبيًا من ثانى أكسيد الكربون، وكميات قليلة نسبيًا من النيتروجين النتراتى والأمونيومى؛ فتضيق النسبة تدريجيًا. ويستمر ذلك مع استمرار تحلل المادة العضوية، حتى تصل نسبة الكربون إلى النيتروجين لنحو ١٠ : ١. وتظل النسبة ثابتة بعد ذلك، برغم استمرار تحلل المادة العضوية. ويعنى ذلك أن المادة العضوية التى توجد

فى صورة متقدمة من التحلل تكون نسبة الكربون إلى النيتروجين بها ١٠: ١ مهما كانت النسبة فى بداية التحلل؛ لذلك نجد أن المادة العضوية التى بها نسبة كبيرة من الكربون إلى النيتروجين تعطى عند تحللها كمية أكبر من ثانى أكسيد الكربون، وكمية أقل من الدبال humus، وهو الناتج النهائى للتحلل.

تقسيم المواد العضوية حسب نسبة الكربون إلى النيتروجين بها

تقسم المواد العضوية حسب نسبة الكربون إلى النيتروجين بها إلى الأقسام التالية:

١- مواد ذات نسبة متقاربة جدًّا very narrow؛ مثل: بول الحيوانات (١٠: ١)، والبقوليات فى الأطوار المبكرة من نموها (١٥: ١ — ٢٠: ١).

٢- مواد ذات نسبة متقاربة؛ مثل: البقوليات فى الأطوار المتأخرة من نموها والسماد الحيوانى المتحلل (٢٠: ١)، وغير البقوليات فى الأطوار المبكرة من نموها (٢٠: ١).

٣- مواد ذات نسبة عالية؛ مثل القش المتحلل، والأوراق المتحللة (٦٠: ١)، وغير البقوليات فى الأطوار المتأخرة من نموها (٦٠: ١).

٤- مواد ذات نسبة عالية جدًّا، مثل: القش (٨٠: ١)، والأوراق الجافة (٨٠: ١)، ونشارة الخشب (٣٠٠: ١) (Edmond وآخرون ١٩٧٥).

وعمومًا .. تتوقف نسبة الكربون إلى النيتروجين على مرحلة النمو النباتى؛ فتكون النسبة أوسع كلما تقدمت النباتات فى النمو، وكذلك تكون فى النباتات غير البقولية أوسع منها فى النباتات البقولية.

العوامل المؤثرة على سرعة تحلل المادة العضوية

يتم تحت الظروف المناسبة تحلل نصف كمية المادة العضوية الطازجة المضافة (سماد حيوانى، أو سماد أخضر) خلال ٢-٣ أسابيع، ونحو $_٣/^٢$ الكمية المضافة خلال ٤-٦ أسابيع.

وتتأثر سرعة تحلل المادة العضوية بالعوامل التالية:

١- درجة الحرارة:

حيث تخضع سرعة التحلل لقانون: فان هوف Vant Hoof، فتزداد سرعة التحلل إلى الضعف مع كل زيادة مقدارها ١٠ درجات مئوية بين درجتى حرارة صفر، و٣٥°م.

٢- تهوية التربة:

لأن الأكسجين ضرورى لتأكسد المواد العضوية، ولتنفس الكائنات الدقيقة فى التربة.

٣- الرطوبة الأرضية:

لضرورتها لنمو الكائنات الدقيقة، ولإتمام التفاعلات التى تحدث أثناء التحلل.

٤- pH التربة:

حيث تكون كائنات التربة فى أعلى درجات نشاطها بين pH ٦- ٦,٥.

نواتج تحلل المادة العضوية فى التربة

عند تحلل المادة العضوية فى التربة، فإنها إما أن تتأكسد كلية، وإما أن تتحلل إلى مواد وسطية تسمى الدبال humus. ومن المواد التى تتأكسد أو تتحلل كلية المركبات العضوية البسيطة، كالسكريات، والنشويات، والهيميسيليوز، والبروتينات البسيطة. فالسكريات تتأكسد إلى CO_2، وماء وحرارة، مع صور أخرى للطاقة. والبروتينات البسيطة تتأكسد فى وجود الماء إلى CO_2، وماء، وأمونيا، وطاقة والبروتينات المركبة المحتوية على الكبريت تتأكسد فى وجود الماء إلى CO_2، وماء وأمونيا، وكبريتيد الأيدروجين. هذا .. وتتحول الأمونيا إلى نيتروجين نتراتى، ويتحول كبريتيد الأيدروجين إلى كبريتات. والمعادن تتحد مع بعض الأنيونات، مكونة أملاحًا، أو تبقى

فى المحلول الأرضى كأيونات. وتفيد المركبات التى تتأكسد كلية فى إمداد كائنات التربة الدقيقة بالطاقة، كما تفيد فى إمداد النبات ببعض العناصر الضرورية (Buckman & Brady ١٩٦٠).

وقد أمكن التوصل إلى معادلات أسية بسيطة simple exponential equations تصف عملية تحلل المادة العضوية لبقايا النباتات فى الحقل، تتحدد دلائلها بمحتوى المادة العضوية من كل من الكربون والنيتروجين واللجنين (Rahn & Lillywhite ٢٠٠١).

الدبال

الدبال عبارة عن مركب وسطى لتحلل المادة العضوية. وهو ناتج من نشاط الكائنات الدقيقة فى التربة عليها، ويوجد فى صورة غروية، وله أهميته القصوى فى زيادة السعة التبادلية للتربة. والدبال عبارة عن مادة عضوية متقدمة كثيرًا فى درجة تحللها. وهو مادة غير متجانسة، ليس له تركيب كيميائى محدد، ولونه بنى داكن، ويتكون من بقايا نباتية وحيوانية متحللة مع بقايا خلايا كائنات التربة نفسها. والدبال غير ثابت التركيب، ويتغير باستمرار فى التربة ببطء.

يشكل اللجنين نحو ٤٠٪– ٤٥٪ من الدبال، ويدخل البروتين فى تركيبه بنسبة ٣٠٪– ٣٥٪، أما الباقى، فهو عبارة عن دهون وشموع ومواد أخرى. واللجنين بالدبال ذو أصل نباتى، أما النيتروجين، فإنه يرجع إلى نشاط الكائنات الدقيقة فى التربة (Millar وآخرون ١٩٦٥).

الأسمدة الخضراء

الأسمدة الخضراء green manure هى تلك التى تزرع لغرض قلبها فى التربة بعد نموها، وليس لغرض أخذ محصول منها. ويوجد منها نوعان:

١– نوع يزرع كغطاء للتربة cover crop، حيث تزرع نباتاته لغرضين؛ هما المحافظة على التربة من التعرية، ولتحسينها بقلبها فيها. وهى تزرع غالبًا فى الأوقات التى لا تزرع فيها الخضراوات.

٢- نوع يسمى أسمدة خضراء green manure crops، وتزرع نباتاته لأجل تحسين التربة فقط، وتقلب فيها وهى ما زالت خضراء، وهى تزرع غالبًا فى الأوقات المناسبة لزراعة الخضر؛ وعليه .. فهى تشغل الأرض فى وقت يمكن فيه استغلالها فى زراعة الخضر.

هذا.. ويجب أن تؤخذ العوامل التالية — فى الحسبان — عند اختيار نوع محصول التسميد الأخضر:

١- مدى تأقلم المحصول على الظروف الجوية السائدة خلال موسم النمو المراد زراعته خلاله.

٢- مدى تأقلم النبات على تربة المزرعة.

٣- مواصفات النمو الجذرى، ومدى تغلغله فى التربة.

٤- مدى سهول قلب النمو الخضرى فى التربة.

٥- كمية المادة العضوية التى ينتجها المحصول فى الوقت المتاح لنموه قبل زراعة الحقل بالخضراوات. وتجدر الإشارة إلى أن كمية المادة العضوية التى ينتجها المحصول هى الأساس فى المفاضلة بين الأنواع النباتية المختلفة؛ فالهدف هو تحسين خواص التربة. ويجب تفضيل محصول غير بقولى ينتج كمية كبيرة من المادة العضوية على محصول بقولى ينتج كمية قليلة من المادة العضوية؛ لأن الآزوت يمكن توفيره من مصادر أخرى.

ومن المحاصيل التى تزرع — عادة — لغرض استخدامها كسماد أخضر: البرسيم، واللوبيا، والفول الرومى.

ومن أهم مزايا استخدام الأسمدة الخضراء ما يلى:

١- يؤدى قلب السماد الأخضر فى التربة إلى إعادة العناصر الغذائية — التى امتصتها النباتات — إلى التربة، ومعها كمية من المادة العضوية.

٢- تؤدى محاصيل التسميد الأخضر مهمتين بالنسبة للعناصر الغذائية فى التربة: الأولى امتصاص العناصر من أعماق مختلفة، ثم إضافتها إلى الطبقة السطحية بعد قلب المحصول في التربة، والثانية امتصاص العناصر الغذائية والاحتفاظ بها، بدلاً من فقدها بالرشح لحين قلب المحصول فى التربة.

٣- تضيف المحاصيل البقولية كميات إضافية من الآزوت إلى التربة.

٤- تعتبر المادة العضوية المضافة عن طريق السماد الأخضر أكثر فائدة من كمية مماثلة مضافة على سطح التربة فى صورة أسمدة عضوية؛ لأن جزءًا من المادة العضوية المضافة عن طريق السماد الأخضر يكون فى صورة جذور نباتات تتخلل التربة لأعماق كبيرة، وتعطى عند تحللها توزيعًا عميقًا للمادة العضوية فى التربة. كما تترك عند تحللها أنفاقًا تتخلل التربة لأعماق كبيرة؛ مما يساعد على تحسين مسامية التربة وتهويتها. وذلك أمر يستدعى الاهتمام بالمجموع الجذرى للأسمدة الخضراء.

٥- تساعد الأسمدة الخضراء على تثبيت التربة وحفظها من التعرية، وخاصة فى المناطق الغزيرة الأمطار، أو المعرضة للرياح القوية (عن Thompson & Kelly ١٩٥٧).

هذا.. ويجب أن يكون الهدف من زراعة نباتات تحسين التربة هو الحصول على أكبر قدر ممكن من النمو فى الوقت المتاح ولذلك يجب — عند زراعتها — ما يلى:

١- أن تكون الزراعة أكبر كثافة مما هى فى حالة الزراعة العادية. وتكون الزراعة على مسافات ضيقة، أو نثرًا حسب المحصول. وتبلغ كمية التقاوى للفدان نحو ٤٠ كجم من اللوبيا، و٢٥ كجم من فول الصويا، و٤٥ كجم من الفول الرومى، و٣٥ كجم من البسلة، و١٢ كجم من حشيشة السودان.

٢- العناية بتسميدها عضويًّا، كما لو كانت تزرع لأجل الحصول على محصول منها، لأن فى ذلك استثمارًا كبيرًا للأسمدة المضافة.. فهذه الأسمدة ستعود إلى التربة مرة أخرى لتستفيد منها الخضر المزرعة، كما ستعمل على تشجيع نمو خضرى جيد فى

نباتات التسميد الأخضر، مما يزيد من كمية المادة العضوية المضافة إلى التربة. وفى حالة عدم توفر الأسمدة يعتبر من الأجدى إضافة جزء من السماد المخصص لمحصول الخضر إلى نباتات التسميد الأخضر المزروعة قبل الخضر.

٣- عند استخدام البقوليات كأسمدة خضراء يجب تلقيح بذورها ببكتيريا العقد الجذرية الخاصة بها فى حالة زراعتها لأول مرة بالحقل.

ويتوقف موعد قلب النباتات المستعملة كسماد أخضر فى التربة على عاملين؛ هما:

١- موعد زراعة محصول الخضر التالى فى الدورة.

٢- الفترة التى يستغرقها تحلل نباتات السماد الأخضر.

وتتوقف الفترة التى تستغرقها نباتات السماد الأخضر حتى تتحلل على كل من درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة فى التربة، وعلى مدى تقدم النباتات المستعملة كسماد أخضر فى النمو عند قلبها فى التربة، وكذلك على نسبة الكربون إلى النيتروجين بها.

هذا .. ويؤدى قلب السماد الأخضر فى التربة إلى حدوث نقص مؤقت فى الآزوت؛ نتيجة استهلاكه من قِبَل الكائنات الدقيقة التى تقوم بتحليل المادة العضوية. ورغم أن ذلك الآزوت يعود إلى التربة مرة أخرى، إلا أن هذا النقص المؤقت يؤثر على نمو نباتات الخضر المزروعة إذا زرعت قبل تحلل السماد الأخضر المضاف.

ولإسراع تحلل المادة العضوية، وتلافى النقص المؤقت فى الآزوت، تجب مراعاة ما يلى:

١- تسميد نباتات السماد الأخضر جيدًا بسماد آزوتى عضوى أثناء نموها؛ حيث يؤدى ذلك إلى زيادة النمو الخضرى؛ ومن ثم زيادة فائدته كسماد أخضر. ومن ناحية أخرى .. فإن ذلك يؤدى إلى زيادة محتوى النبات من النيتروجين. ويمكن اعتبار ذلك التسميد الآزوتى جزءًا من المقرر الآزوتى الذى يعطى للمحصول التالى؛ حيث سيعود إلى التربة بعد تحلل السماد الأخضر.

هذه الصفحة غير موجودة من أصل المصدر

هذه الصفحة غير موجودة من أصل المصدر

وخاصة بالنسبة لبروتين الدم. أما بروتين السمك فيبقى معلقًا فى مياه الرى لفترة أطول؛ وبذا.. يكون توزيعه فى شبكة الرى أكثر تجانسًا.

ومن الأسمدة العضوية التجارية المحضرة من الأنسجة الحيوانية ما يلى:

١- من الأسمدة التى تحضر من الأسماك سماد Alaska Fish Emulsion، وهو مستحلب يحتوى على ٥٪ نيتروجينًا عضويًا، بالإضافة إلى ١٪ من كل من الفوسفور والبوتاسيوم، ويستعمل مع مياه الرى – سواء أكان الرى بالرش، أم بالتنقيط – بمعدل لتر من السماد لكل ٢٥٠ لترًا من مياه الرى.

٢- من الأسمدة التى تحضر من العظام سماد Bone Meal 1-11-0، وهو سماد غنى بالفوسفور العضوى، ويضاف إلى التربة نثرًا إلى جانب النباتات.

٣- من الأسمدة التى تحضر من الدم سماد الدم المجفف Dried Blood 10-0-0، وهو يحتوى على ١٠٪ نيتروجينًا عضويًا سريع التيسر للنبات.

هذا .. إلا أن بعضًا من تلك المنتجات يحتوى على جزيئات صغيرة تكون معلقة فى الماء ولا تذوب فيه، الأمر الذى قد يعنى ترسبها من السماد؛ وبالتالى ضعف محتوى السماد من العناصر المغذية. ويمكن – غالبًا – عمل مستخلصات لتلك المواد الصلبة تُرش بها النباتات أو تضاف مباشرة إلى التربة.

ويتوقف مقدار ما يضاف من مختلف المواد العضوية وغير العضوية – لاستكمال حاجة النبات من العناصر المغذية – على الخبرة السابقة للمنتج، وقوة النمو النباتى، والمعلومات المتوفرة عن صفات التربة، مثل محتواها من المادة العضوية، والسعة التبادلية الكاتيونية، وقدرة التربة على توفير عنصرى الفوسفور والبوتاسيوم، واحتياجات المحصول وتاريخ الحقل، ومدى قدرة المواد المراد إضافتها على توفير العناصر الضرورية وسرعة تيسرها. هذا علمًا بأن زيادة التسميد بالنيتروجين أو بالفوسفور يمكن أن تؤدى إلى تلوث المياه السطحية والجوفية، وهو ما قد يحدث فى حالات الإضافات الكبيرة

جدًّا من الأسمدة العضوية. ويفيد تحليل التربة بصورة منتظمة في الحكم على مدى خصوبة التربة وما يحدث فيها من تغيرات سنة بعد أخرى (عن Brust وآخرين ٢٠٠٣).

هذا .. ولا يسمح في السوق الأوروبية باستخدام مخلفات المجارى المعالجة في تسميد الزراعات العضوية لما قد تحمله من مخاطر التلوث بمسببات أمراض الإنسان وببعض العناصر السامة. ونظرًا لأن تلك المخلفات هي أصلاً لمواد عضوية — نباتية وحيوانية — خرجت من المزارع ولا يسمح بعودتها إليها، إلى جانب ما يحدث من فقد للعناصر بالمزارع جراء الرشح مع ماء الصرف، والزنترة denitrification، وتبخر الأمونيا، فإنه يُسمح في الزراعة العضوية باستعمال مغذيات محدودة في علائق الحيوانات والأسمدة النباتية لتكون بديلاً لما يُفقد من الدورة التي يفترض أن تكون مغلقة. هذا إلاّ إنه لا يسمح إلا باستعمال المواد التي تتيسر منها العناصر بعمليات وسطية مثل التجوية الكيميائية أو من خلال نشاط بعض الكائنات الدقيقة (Stockdale وآخرون ٢٠٠١).

الكمبوست

يمكن أن يشكل الكمبوست — وخاصة إذا دخل في تكوينه سبلة الحيوانات — مصدرًا اقتصاديًّا مناسبًا لكل من العناصر الكبرى والدقيقة، ويكون التحدى عند استعمال الكمبوست هو معرفة تركيبه وكيفية استعماله بكفاءة. فإذا ما كانت المواد التي أُدخلت في إنتاج الكمبوست فقيرة في العناصر المغذية، فإن الكمبوست يكون كذلك. وإذا لم يكن الكمبوست في مرحلة متقدمة من التحلل، فإنه يؤدى إلى فقر مؤقت في نيتروجين التربة الذى تحتاج إليه الكائنات الدقيقة التي تقوم باستكمال تحليل الكمبوست الذى يُضاف إليها. وتعد نسبة الكربون إلى النيتروجين في الكمبوست أحد دلائل توفيره للنيتروجين للنبات، فمع زيادة النسبة عن ٢٠ : ١ تزداد فرصة تثبيت نيتروجين التربة

فى كائنات التربة الدقيقة التى تقوم بتحليل الكمبوست، بينما يوفر الكمبوست الذى تنخفض فيه النسبة عن ٢٠ : ١ النيتروجين للمحصول المزروع.

ومن بين عوامل الجودة الأخرى للكمبوست عمره، وحجم جزيئاته، ورقمه الأيدروجينى، وملوحته، ونقاوته، أى نسبة ما يحتويه من مادة عضوية، حيث يفضل الكمبوست الذى يقل محتواه من التربة والرمل والمواد الأخرى غير العضوية التى تكون مخلوطة به. ونظرًا لأن تحليل الكمبوست يكون على أساس الوزن الجاف، فإن محتواه الرطوبى يضيف إلى وزنه، ويقلل من محتواه من العناصر، وكثيرًا ما يصل محتوى الكمبوست من الرطوبة إلى ٢٥٪ – ٣٠٪ (Gaskell وآخرون ٢٠٠٦، وGaskell & Smith ٢٠٠٧).

يكون الكمبوست الحديث young compost – عادة – غنيًّا فى محتواه من عديدات التسكر، وهى التى تعزز تجميع حبيبات التربة المتفرقة، وتؤدى إلى زيادة ثبات التجمعات الأكبر حجمًا. هذا إلا أن إضافة هذا الكمبوست الحديث – غير المكتمل التحلل – يتطلب تركه فى التربة لفترة طويلة قبل وصوله إلى مرحلة الثبات (Raviv ٢٠٠٥).

هذا .. وتكون معدلات المعدنة من الكمبوست المضاف للتربة منخفضة نسبيًّا، كما يُعد الكمبوست – عادة – مصدرًا ضعيفًا للنيتروجين على المدى القصير. ولقد أظهرت الدراسات أن نسبة النيتروجين التى تتمعدن من الكمبوست خلال السنة الأولى بعد إضافته لا تزيد عن ١٥٪ وربما يفسر ذلك المشاكل الخاصة بالتسميد النيتروجينى التى تنشأ خلال فترة التحول من الزراعة التقليدية إلى الزراعة العضوية. ومع الاستمرار فى إضافة الكمبوست سنويًّا.. تزداد الكمية الكلية من النيتروجين العضوى بالتربة، ومن ثم تزداد كميات العنصر التى يمكن أن تتوفر من المعدنة (Gaskell وآخرون ٢٠٠٦).

وإلى جانب استخدام الكمبوست فى تسميد التربة، فإنه يستخدم – كذلك – كأحد المكونات الرئيسية لبيئات الزراعة، وهو استخدام انتشر حديثًا على نطاق واسع، وخاصة فى زراعة المحاصيل غير المأكولة كنباتات الزينة ومشاتل الأشجار. ويعد هذا الاستخدام

للكمبوست بديلاً جيدًا للبيت موس؛ فهو يؤدى معظم ما يتحقق باستعمال البيت، فضلاً عن كونه أقل تكلفة. كما أن الكمبوست "الناضج" المكتمل التحلل mature compost يعد مثبطًا للمسببات المرضية التى تعيش فى التربة. وتجدر الإشارة إلى أن الكمبوست "الناضج" هو بالضرورة كمبوست "ثابت" stable (عن Raviv ٢٠٠٥).

وتفيد إضافة الكمبوست إلى التربة فيما يلى:

١- زيادة قدرة الأراضى الرملية على الاحتفاظ بالرطوبة.

٢- تحسين الصرف والتهوية فى الأراضى الثقيلة.

٣- زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالعناصر الضرورية للنبات.

٤- زيادة نشاط ديدان التربة والكائنات الدقيقة المفيدة للنمو النباتى.

٥- تقليل تكون القشور crusts على سطح التربة؛ مما يحسن إنبات البذور.

ومع استمرار إضافة الكمبوست سنة بعد أخرى يتحسن قوام التربة، وتتوقف سرعة التحسن على معدلات بالإضافة.

ويوفر الكمبوست قدرًا من العناصر الضرورية اللازمة للنبات، ولكن ذلك لا يكون بالقدر الكافى إلا إذا أضيف الكمبوست بكميات كبيرة.

هذا .. ويتراوح pH معظم أنواع الكمبوست بين ٧، و٨، ويجب ألاّ تسبب تلك القلوية القليلة للكمبوست أية مشاكل عند خلطه بالتربة (McLaurin & Wade ٢٠٠٨).

مجمل عمليات تحضير المكامير وتجهيز الكمبوست

لعمل المكامير الكبيرة — بهدف تحضير سماد الكمبوست على نطاق واسع — يوصى Nelson (١٩٨٥) بمراعاة ما يلى:

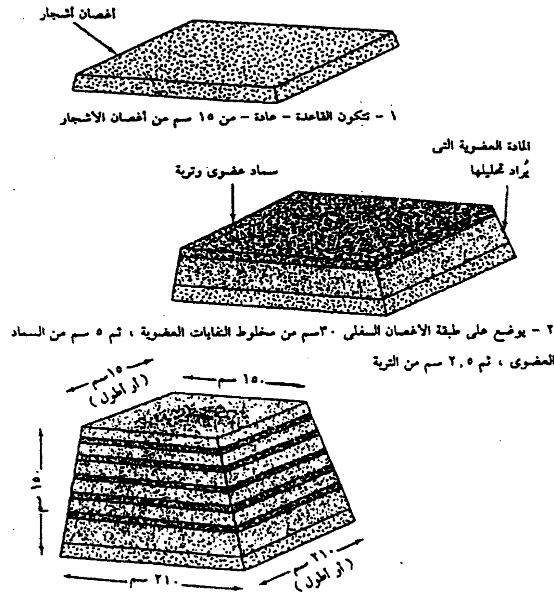
توضع المواد العضوية التى يُراد وضعها فى المكمورة فى كومات يبلغ عرضها عند القاعدة نحو ٢١٠ سم، بينما يزيد طولها على ذلك، ويصل ارتفاعها إلى ١٥٠ سم. تكون الكومة مستدقة — تدريجيًا — نحو القمة، بحيث تقل عند القمة بنحو ٦٠ سم عما يكون عليه الحال عنده القاعدة.

تتكون المواد العضوية التى يجب وضعها فى المكمورة من مجموعتين، كما يلى:

١- مواد كربونية تكون فقيرة فى محتواها من النيتروجين، وغنية نسبيًا فى محتواها من الكربون، مثل: القش، وبرى الخشب، ونشارة الخشب.

٢- مواد نيتروجينية تكون غنية بالنيتروجين مقارنة بالكربون؛ مثل: النباتات الخضراء، والسماد الحيوانى.

يجب خلط هذه المواد معًا بنسبة ٧٥٪ مواد كربونية إلى ٢٥٪ مواد نيتروجينية (شكل ٢-١).



شكل (٢-١): طريقة عمل المكمورة (يُراجع المتن للتفصيل).

يوضع أسفل المكمورة — عادة — طبقة من الأغصان النباتية (الناتجة من عمليات التقليم) سُمكها ١٥ سم، لتوفير التهوية اللازمة للتحلل الجيد. يلى ذلك إضافة طبقة من مخلوط المواد الكربونية والنيتروجينية (بنسبة ٣ : ١) بسمك ٣٠ سم، تليها طبقة من مادة نيتروجينية — مثل السماد الحيوانى — سُمكها ٥ سم، ويوضع على قمتها طبقة من التربة سُمكها ٢,٥ سم. يكرر بعد ذلك إضافة هذه الطبقات — ولكن مع عدم تكرار إضافة طبقة الأغصان النباتية، وتقليل سمك طبقة مخلوط المواد الكربونية والنيتروجينية إلى ١٥ سم — حتى تصبح الكومة بارتفاع ١٥٠ سم.

يراعى أن تكون قمة الكومة مقعرة من أعلى؛ حتى يمكن إضافة الماء عليها. يعتبر الماء ضروريًّا لعملية الكمر والتحلل، ويجب أن تتراوح نسبته — بالوزن — من ٥٠٪ إلى ٦٠٪. وعند إضافة أية مواد جافة إلى الكومة فإنه يتعين ترطيبها.

تحتاج الكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية تحليل المواد العضوية إلى كميات كبيرة من الأكجسين. وإذا كانت الكومة زائدة الرطوبة — إلى الحد الذى تصبح معه منضغطة أثناء التحلل — فإن الأكسجين الموجود فيها يستهلك بسرعة أكبر من سرعة نفاذه إلى داخلها. ويترتب على ذلك نشاط مجموعة أخرى من الكائنات الدقيقة ينتج منها رائحة كريهة، وتكون نواتج التحلل غير مرغوب فيها.

وبينما يكون التحلل زائدًا فى الكومات التى يزيد ارتفاعها على ١٨٠ سم، فإن الكومات غير العميقة (٦٠ سم مثلاً) لا تكون معزولة بقدر كاف للمحافظة على الحرارة العالية اللازمة للتحلل.

يجب خلط المكمورة جيدًا من آن لآخر، وذلك لإعادة تكوين المسافات البينية التى تسمح بالتهوية، ولنقل الأجزاء السطحية — التى لم تتحلل — من الكومة إلى مركزها. وتزداد سرعة التحلل بزيادة معدل تقليب الكومة. وبينما يمكن أن تستكمل الكومة تحللها فى ستة شهور فى الجو البارد إذا قلبت كل ستة أسابيع، فإن عملية التحلل

يمكن استكمالها فى أسبوعين فى الجو الحار إذا قلبت الكومة بعد أربعة أيام، ثم فى اليوم السابع، واليوم العاشر.

تتوفر الكائنات الدقيقة التى تلزم لعملية التحلل فى كل من السماد العضوى والتربة المضافين إلى المخلوط. وتحصل الكائنات الدقيقة على النيتروجين اللازم لها من المواد النيتروجينية الموجودة فى الخلطة. وإذا لم تتوفر المواد النيتروجينية بكميات كافة فى الخلطة كان من الضرورى إضافة بعض الأسمدة الآزوتية إليها، وإلا طالت فترة الكمر اللازمة.

يكون السماد العضوى الناتج من المكمورة فقيرًا فى محتواه من العناصر المغذية؛ حيث يحتوى الكمبوست الجاف — عادة — على ١,٥٪ — ٣,٥٪ نيتروجينًا، و٠,٥٪ —١,٠٪ فوسفورًا، و١,٠٪ — ٢,٠٪ بوتاسيوم. ويكون الـ pH — عادة — متعادلاً إلى قليل القلوية.

مكونات المكمورة

تصلح أنواع كثيرة من المواد العضوية لعمل الكمبوست منها، إلا أن تلك التى تحتوى على الكربون إلى النيتروجين بنسب معينة هى المفضلة، كما سيأتى بيانه لاحقًا. وعمومًا.. فإن جميع المخلفات العضوية تصلح لعمل الكمبوست باستثناء الأخشاب ومخلفات التقليم الخشبية. ويفضل دائمًا فرم الفروع الشجرية التى يزيد قطرها عن ٦ مم. وتضاف للكمبوست قبل عملية الكمر كمية قليلة من التربة. كذلك يمكن إضافة نشارة الخشب إذا ما توفر مصدر إضافى للنيتروجين. ويلزم — تقريبًا — كيلوجرام واحد من النيتروجين N (مثلاً: ٣ كجم نترات نشادر) لتحلل ١٠٠ كجم من نشارة الخشب. ويجب عدم استعمال المخلفات النباتية التى سبقت معاملتها بمبيدات الحشائش إلا بنسب بسيطة. ويجب — كذلك — عدم استعمال أى مخلفات عضوية يمكن أن تكون مصدرًا لمشاكل صحية، مثل مخلفات الإنسان. وما لم ترتفع الحرارة فى جميع أجزاء كومة الكمبوست إلى ٦٥– ٧٥°م بالتقليب الجيد — وهى الحرارة التى تقتل المسببات المرضية — فإن إضافة مخلفات نباتية مصابة بالأمراض قد يسبب مشاكل عند استعمال

الكمبوست المجهز دون تقليب جيد، حيث تحتفظ جراثيم المسببات المرضية بحيويتها.

ولا يفضل كمر الحشائش التى تكون محملة بالبذور، ذلك أنه على الرغم من موت بعض البذور أثناء عملية الكمر، فإن تواجد أعداد كبيرة منها فى المكمورة يعنى أن كثيرًا منها سوف لن يتأثر بعملية الكمر، ليشكل مشكلة عند استعمال ذلك الكمبوست بعد ذلك.

ولا يجوز أن يُستخدم ضمن مكونات المكمورة أى من المواد التالية:

١- نشارة الخشب المتحصل عليها من أخشاب سبقت معاملتها كيميائيًّا، ذلك لأنها تحتوى على الزرنيخ الشديد السمية بالإضافة إلى الكروم والنحاس.

٢- النباتات المصابة بالأمراض:

على الرغم من أن الكمر الجيد والكامل يؤدى إلى التخلص التام من جميع مسببات الأمراض، إلا أن الأمر لا يخلو من وجود أجزاء نباتية لم تتعرض للكمر الكامل فى المنتج النهائى، وهى التى تكون مصدرًا للإصابة المرضية.

٣- مخلفات الإنسان؛ نظرًا لأنها قد تحتوى على مسببات مرضية للإنسان، وما يترتب على ذلك من مخاطر على الصحة العامة.

٤- بقايا اللحوم والعظام والأغذية الدهنية:

تعد تلك المواد جاذبة للفئران وغيرها من الحيوانات، بالإضافة إلى أن الأغذية الدهنية تعد بطيئة التحلل بدرجة كبيرة؛ نظرًا لأن الدهون يمكن أن تشكل حاجزًا أمام الأكسجين الذى تحتاجه الكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية التحلل.

٥- الحشائش الخبيثة:

لا تجوز إضافة الحشائش الخبيثة إلى مكونات المكمورة إلا إذا كانت ميتة تمامًا، وأفضل وسيلة لتحقيق ذلك هى تركها — بعد تقليعها — لتجف على سطح التربة لمدة أسبوعين.

٦- مخلفات الحيوانات الأليفة المنزلية مثل مخلفات القطط والكلاب:

قد يلجأ البعض إلى استخدام تلك المخلفات عند عمل الكمبوست فى الحدائق المنزلية، إلا أن ذلك يجب تجنبه لما قد تحتويه تلك المخلفات من مسببات مرضية يمكن أن تصيب الإنسان.

الإضافات الأخرى للمكمورة

يتأثر نشاط الكائنات الدقيقة المحللة للكمبوست بنسبة الكربون إلى النيتروجين فى المخلفات العضوية المتحللة. ونظرًا لأن تلك الكائنات تحتاج إلى قدر من النيتروجين لأيضها ونموها، فإن نقص النيتروجين يُبطئ عملية التحلل بشدة، وذلك كما يحدث عند تحلل القش ونشارة الخشب، ما لم تتم إضافة النيتروجين إلى الكومة. وتعد السبلة مصدرًا جيدًا للنيتروجين. أما الفوسفور والبوتاسيوم فإنهما يتواجدان — عادة — بكميات كافية للتحلل.

تُنتج الأحماض العضوية خلال المراحل الأولى لعملية التحلل؛ مما يؤدى إلى خفض pH المكمورة، وتلك ظروف تناسب نشاط معظم الكائنات الدقيقة المحللة للمادة العضوية. ويؤدى رفع الـ pH بإضافة الجير إلى تحول النيتروجين الأمونيومى إلى غاز الأمونيا، ليفقد فى الهواء. وعلى الرغم من أن الجير قد يُسرع عملية التحلل، فإن الفاقد فى النيتروجين يكون كبيرًا؛ ولذا.. لا يوصى بإضافة الجير.

ومن بين المواد التى يمكن إضافتها إلى كومة الكمبوست لتحسين قيمته المغذية للنبات، ما يلى:

المادة	المعدل (كجم/ م٢)	التأثير
الكبريت الزراعى	٣ — ٥	تحسين الـ pH — زيادة تيسر العناصر
صخر الفوسفات	٧ — ١٠	زيادة تيسر الفوسفور
سلفات بوتاسيوم طبيعى	٧ — ١٠	زيادة عنصر البوتاسيوم
سلفات مغنيسيوم طبيعى	١ — ٢	زيادة عنصر المغنيسيوم

تضاف هذه الصخور أثناء تجهيز الكمبوست على ألاّ تقل الفترة بين إضافتها واستعمال الكمبوست عن شهر؛ لإعطاء الفرصة للكائنات الدقيقة أن تعمل فعلها وتزيد من تيسر العناصر.

لقد وجد أن إضافة تلك الصخور الطبيعية (صخر الفوسفات — الفلدسبار — الكبريت الزراعى — الدولوميت — البنتونيت) للمخلفات العضوية أثناء عملية الكمر الهوائى وإنتاج الكمبوست أدت إلى ذوبان تلك الصخور وتيسر العناصر منها، وكانت الزيادة فى محتوى الكمبوست من العناصر الميسرة أعلى عندما أضيفت الصخور فى بداية عملية الكمر عنها عندما كانت إضافتها بعد ستة أسابيع من بداية الكمر كما يلى (الحجار وآخرون — المؤتمر الدولى الثانى للزراعة العضوية — القاهرة — ملخصات البحوث — ٢٠٠٤).

العنصر	الزيادة (٪) عند إضافة الصخر	
	فى بداية الكمر	بعد ٦ أسابيع من بداية الكمر
الفوسفور	٢٧,٤	٢١,٨
البوتاسيوم	٣٨,٥	٣٢,١
الكالسيوم	٥٩١- ٧٢١	٥٢٩- ٥٨٦
المغنيسيوم	٥٩,٤	٤٨

متطلبات الكمر الجيد

إن من أهم الأمور التى يتعين مراعاتها فى عملية الكمر، ما يلى:

١- تتحلل المادة العضوية بشكل جيد إذا تراوحت أجزاؤها بين ١,٥ إلى ٤ سم فى الحجم، ولا يجب فرم الأنسجة الغضة الطرية إلى أجزاء صغيرة جدًا لأنها تتحلل سريعًا. وبعكس ذلك .. فإن الأنسجة الصلبة والخشبية يفضل أن تكون صغيرة الحجم لكى تتحلل سريعًا، ويتعين طحن المواد الخشبية.

٢- لكى تتم عملية الكمر بكفاءة عالية ينبغى أن تبدأ المكمورة بنسبة كربون إلى نيتروجين ٣٠ : ١، علمًا بأن خلط أحجام متساوية من المادة النباتية الخضراء والمادة النباتية الجافة يعطى — تقريبًا — تلك النسبة.

٣- يكون التحلل جيدًا عندما تكون نسبة الرطوبة فى مكونات المكمورة ٥٠٪، علمًا بأن التحلل يكون بطيئًا أو لا هوائيًا عندما تكون المكمورة مشبعة بالرطوبة، ويكون بطيئًا أو يتوقف كلية عندما تكون المكمورة جافة.

٤- يحافظ الحجم المناسب للمكمورة على الحرارة التى تنتج من عملية التحلل، وهى التى تسرع التحلل وتقضى على مسببات الأمراض وبذور الحشائش التى قد توجد فى المكمورة.

ويجب ألاّ تقل أبعاد كومة المكمورة عن متر واحد عرضًا ومتر واحد ارتفاعًا، ذلك لأن عملية الكمر والتحلل لا تتم بصورة جيدة فى الكومات الأقل حجمًا عن ذلك، والأفضل زيادة تلك الأبعاد إلى ١,٥ م عرضًا، و١,٥ م عمقًا، وبأى طول على ألا يقل عن ١,٥ م.

٥- وكما أسلفنا تتكون كومة المكمورة من عدة طبقات، كما يلى:

أ- توضع المادة العضوية ذات الأجزاء الكبيرة فى قاع الكومة؛ لأن ذلك يسرع من تحللها، كما أن وجودها بالقاع يسمح بحركة الهواء حول قاعة الكومة نحو داخلها حيث يتحرك إلى أعلى، مما يؤدى إلى رفع حرارة الكومة. ويراعى ترطيب جميع الطبقات أثناء إضافتها للكومة.

ب- تضاف المخلفات العضوية ذات الأجزاء الأصغر حجمًا بسمك ٢٠ — ٢٥ سم، مع رشها بالماء إلى أن تصبح رطبة، ولكن دون أن تتشبع بالماء.

ج- تضاف سبلة الماشية فى طبقة بسمك حوالى ٢,٥ سم.

د- تضاف التربة فوق السبلة فى طبقة أخرى بسمك حوالى ٢,٥ سم أيضًا.

تعد التربة مصدرًا جيدًا للكائنات التى تقوم بتحليل المخلفات العضوية. كما تحتوى المخلفات — هى الأخرى — على تلك الكائنات؛ بما يعنى عدم الحاجة إلى استعمال بادئ من الكمبوست الجاهز أو البيئات الميكروبية.

تتكرر إضافة جميع الطبقات التى أسلفنا بيانها — مع استمرار ترطيبها — إلى أن تصل الكومة إلى الارتفاع المطلوب. ويلى ذلك تغطيتها بنحو ١٥ — ٢٠ سم من القش.

٦- يتعين حماية كومة الكمبوست من الرياح التى تؤدى إلى سرعة جفافها، وهو أمر غير مرغوب فيه. كما أن حماية الكومة من الرياح، مع تعرضها لأشعة الشمس يُسرعان من ارتفاع حرارتها، وذلك أمر مرغوب فيه. ولكن يتعين كلما ازداد التعرض للشمس أو للرياح — زيادة معدلات رش الكومة بالماء.

٧- ينبغى قلب المكمورة لكى لا تزيد الحرارة عما ينبغى فى مركزها، مع إعطاء الفرصة للحواف لأن تصبح فى المركز. تؤدى عملية قلب المكمورة إلى برودتها قبل أن يبدأ التحلل وترتفع الحرارة من جديد، كما تعمل على تحسين التهوية فيها. يؤدى قلب المكمورة يوميًّا إلى اكتمال تحللها فى خلال أسبوعين، وإذا ما كان قلبها كل يومين فإن تحللها يستغرق ثلاثة أسابيع، وتزداد المدة التى يتطلبها التحلل كلما تأخر قلب المكمورة.

وعمومًا .. يتعين قلب كومة الكمبوست مرة شهريًّا (أو كل ثلاثة أسابيع فى الجو الحار)، لأجل إسراع التحلل، ومنع تكون الروائح الكريهة، ولتعريض البذور ويرقات الحشرات ومسببات الأمراض للحرارة المميتة لها داخل الكومة. ويمكن إجراء عمليتى القلب والخلط إما بقلب أجزاء من الكومة، وإما بنقلها إلى مكان مجاور. ويستدل على كفاءة عملية القلب والخلط بغياب الروائح الكريهة، لأن الحرارة العالية داخل الكومة تؤدى إلى قتل البكتيريا المكونة لتلك الروائح. ويراعى — دائمًا — الإبقاء على الكومة رطبة، ولكن دون أن تكون مشبعة بالماء. وقد تتكون الروائح الكريهة جراء وجود كميات كبيرة من المواد العضوية التى يرتفع — كثيرًا — محتواها من الرطوبة — مثل الثمار — فى الكومة، أو بسبب زيادة ترطيب الكومة عما ينبغى. هذا مع العلم بأن الكومة النشطة فى التحلل تصل الحرارة فى منتصفها إلى ٥٤ — ٧١°م فى خلال أيام قليلة، وحينئذٍ

يلاحظ أن الكومة قد بدأت تستقر وترسخ فى مكانها، ويعد ذلك علامة جيدة على نشاط عملية الكمر.

ويفيد قلب الكومة فى توصيل الأكسجين والمواد غير المتحللة إلى مركز الكومة، مما يؤدى إلى توليد حرارة جديدة بالكومة. وتعد عملية الكمر قد استكملت عندما لايؤدى قلب الكومة إلى توليد مزيد من الحرارة فيها.

٨- بمجرد بدء الكمر يجب التوقف عن إضافة أى شىء إلى المكمورة (باستثناء ما يأتى بيانه تحت رقم ١٠)، ذلك لأن أى إضافات عضوية جديدة للمكمورة تعنى ضرورة إطالة فترة الكمر حتى ينتهى تحلل تلك الإضافات.

٩- إذا جُهزت الكومة بشكل جيد فإن حرارتها ترتفع كثيرًا فى خلال ٢٤ — ٤٨ ساعة، وإذا لم يحدث ذلك فإن هذا يعنى أن الكومة زائدة الرطوبة، أو شديدة الجفاف، أو أنها لا تحتوى على قدر كافٍ من المادة النباتية الخضراء. فإن كانت الكومة زائدة الرطوبة يتعين نشرها لفترة حتى تفقد جزءًا من رطوبتها، وإن كانت زائدة الجفاف يتعين رشها بالماء، وخلاف ذلك تكون الكومة فقيرة فى النيتروجين حيث يتعين تزويدها بنباتات خضراء أو سبلة دواجن أو بول حيوانات مخفف بالماء بنسبة ١ :٥.

١٠- إذا كانت نسبة الكربون إلى النيتروجين فى المكمورة أقل من ٣٠: ١ فإن المادة العضوية تتحلل سريعًا، ولكن مع حدوث فقد فى جزء من النيتروجين على صورة أمونيا؛ فإذا ظهرت رائحة الأمونيا حول المكمورة فإن ذلك يعنى حدوث فقد فى النيتروجين. ويمكن وقف هذا الفقد بإضافة مادة غنية بالكربون إلى المكمورة مثل نشارة الخشب. وبخلاف إضافة الماء للكومة لكى لا تجف، فإن نشارة الخشب هى المادة الوحيدة التى قد تضاف للمكمورة — عند الضرورة — أثناء عملية الكمر.

١١- إن من أهم مظاهر التحلل السريع للمكمورة ظهور رائحة مقبولة، وارتفاع حرارة الكومة (الأمر الذى يمكن رؤيته فى صورة بخار ماء ينطلق عند قلب الكومة)،

ونمو فطريات بيضاء على المادة العضوية المتحللة، ونقص حجم المكمورة، وتغير لون المادة العضوية إلى البنى الداكن.

١٢- يعرف انتهاء التحلل ببرودة المكمورة وانخفاض حرارتها. وتجدر الإشارة إلى احتمال بقاء بعض أجزاء المكمورة كبيرة الحجم إن لم تكن المادة العضوية قد فرمت جيدًا قبل بدء عملية الكمر. ويمكن غربلة تلك الأجزاء باستعمال غرابيل سعة ثقوبها ٢,٥ سم، حيث يمكن إضافتها إلى مكمورة جديدة لكي يكتمل تحللها.

وتصبح الكومة جاهزة — عادة — في خلال شهرين أو أقل من ذلك في الجو الحار إلى أربعة شهور أو أكثر من ذلك في الجو البارد.

ويتعين التأكد من أن عملية الكمر أصبحت مكتملة قبل إضافة الكمبوست إلى التربة، لأن عدم اكتمالها يعني ارتفاع نسبة الكربون في ذلك الكمبوست، وحصول الكائنات الدقيقة التي تكمل التحلل على حاجتها من النيتروجين من التربة.

وعند انتهاء عملية الكمر، فإن الكومة تصبح حوالي نصف حجمها الابتدائي، وتكون لها رائحة التربة (earthy smell).

وبعد تمام التحلل يمكن خزن السماد الناتج في حيز أصغر، وكبسه، مع استمرار ترطيبه بالماء وحمايته من الحرارة.

العوامل المؤثرة في تحلل مكونات المكمورة

يعتمد تحلل المادة العضوية في كومة المكمورة على المحافظة على النشاط الميكروبي فيها، فأي عامل يبطئ أو يوقف النمو الميكروبي يعوق — كذلك — عملية الكمر ويكون الكمر فعّالاً إذا ما حوفظ على كل من التهوية، والرطوبة، وحجم أجزاء المادة العضوية، ومستوى النيتروجين في المجال المناسب للنشاط الميكروبي.

التهوية

يعد الأكسجين ضروريًّا للميكروبات لكى تحلل المواد العضوية بكفاءة. وعلى الرغم من أن بعض التحلل يحدث فى غياب الأكسجين (فى الظروف اللاهوائية)، فإن العملية تكون بطيئة، وتصاحبها روائح كريهة. ويوفر قلب وإعادة خلط كومة المكمورة مرة أو مرتان شهريًّا الأكسجين الضرورى، ويسرع كثيرًا من عملية التحليل؛ ذلك أن الكومة التى لا تُقلب ويعاد خلطها قد يحتاج تحللها إلى ٣- ٤ أضعاف الوقت الذى يلزم لتحلل الكومات التى تقلب بانتظام. ويفيد رفع الكومة عن سطح التربة قليلاً — أثناء تجهيزها — فى سحب الهواء الجديد من أسفل ليحل محل الهواء الساخن الذى يتصاعد أعلى الكومة إلى خارجها. ويتحقق ذلك بوضع مواد غير دقيقة (خشنة coarse) أسفل الكومة، لتسمح بمرور الهواء من خلالها، على أن يتم التخلص منها بعد انتهاء التحلل.

الرطوبة

تعد الرطوبة الكافية ضرورية للنشاط الميكروبى؛ فالمكمورة الجافة لا تتحلل بكفاءة. وتشجع الرطوبة المناسبة نمو وتكاثر الكائنات الدقيقة التى تحلل المادة العضوية إلى دبال. وتلزم إضافة الماء للكومة على فترات — رشًّا — للمحافظة على معدل ثابت ومستقر للتحلل. يضاف الماء بالقدر الذى يجعل الكومة رطبة، ولكن ليست مشبعة؛ لأن الماء الزائد يمكن أن يجعل ظروف التحلل لا هوائية، مما يبطئ العملية، وتظهر معها روائح كريهة. وإذا ما أصبحت الكومة زائدة الرطوبة بطريق الخطأ، يتعين قلبها لتجف. والرطوبة المثلى هى تلك التى تتسبب فى ترطيب اليد، دون أن يتساقط الماء عندما يضغط باليد على عينة من المكمورة تؤخذ من عند عمق ٢٠ سم تقريبًا.

حجم أجزاء المادة العضوية

يؤدى فرم المادة العضوية إلى أجزاء صغيرة إلى تقليل الفترة التى تلزم لتحللها كثيرًا، ذلك لأن الفترة التى تلزم للتحلل تتناسب طرديًّا مع حجم أجزاء المادة المتحللة.

درجة الحرارة

لدرجة حرارة الهواء الخارجى للكومة أهمية كبيرة فى نشاط الكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية التحلل، التى يزداد نشاطها طرديًا مع الارتفاع فى درجة الحرارة. وتقع الكائنات الدقيقة التى تقوم بالتحلل ضمن فئتين، هما: الوسطية mesophilic، وهى التى تعيش وتتكاثر فى حرارة تتراوح بين ١٠، و٤٥°م، والمحبة للحرارة thermophilic، وهى تعيش وتتكاثر فى حرارة تتراوح بين ٤٥، و٧٠°م، علمًا بأن المكمورة المخلوطة جيدًا والتى تنشط فيها عملية الكمر ترتفع حرارتها إلى ٤٣– ٧١°م أثناء نشاط الكائنات الدقيقة فيها. وتساعد تلك الحرارة العالية على قتل بذور الحشائش ومسببات الأمراض فى الكومة. ويلى ذلك انخفاض حرارة الكومة — تدريجيًا — إلى أن تتساوى مع حرارة الهواء المحيط بها.

النشاط الميكروبى فى المكمورة والتغيرات فى الرقم الأيدروجينى

من المفيد إضافة قليل من التربة الجيدة الخصبة إلى كومة المكمورة أثناء إعدادها، حيث يُعد ذلك بمثابة تلقيح لها بأنواع متباينة من الكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية التحلل.

يمكن لعديد من الكائنات الدقيقة البقاء فى الحرارة الشديدة الارتفاع، وهى التى تعرف باسم extremophiles، مثل *Thernus thermophilus* التى تلعب دورًا هامًا فى عملية الكمر أثناء الارتفاع الشديد لدرجة الحرارة.

وتتباين أنواع الكائنات الدقيقة التى تنشط أثناء عملية الكمر كما يلى:

١- عند صفر — ١٥°م تسود الـ psychrophiles، لتبدأ عملية التسخين مع تكاثرها.

٢- عند ١٥ — ٤٠°م تسود الـ mesophiles وتموت الـ psychrophiles، أو أنها تبقى فقط عند الحواف.

٣- عند ٤٠ - ٧٠°م تنشط الـ thermophiles، لتستهلك - أثناء نشاطها - عديدًا من الأنواع البكتيرية الأخرى التى تموت خلاياها بفعل الحرارة العالية.

وتحدث تغيرات مماثلة فى pH الكومة أثناء تحللها. ففى البداية تكون المادة العضوية - المتحصل عليها من مصادر نباتية طازجة - حامضية قليلاً، حيث يكون رقم حموضتها حوالى ٦,٠. ومع تحلل المادة العضوية تتكون الأحماض العضوية التى تخفض الـ pH إلى ٤,٥ - ٥,٠. ومع ارتفاع درجة الحرارة تحدث تغيرات كيميائية أخرى تؤدى إلى رفع الـ pH إلى ٧,٥ - ٨,٥. وفى النهاية يثبت الـ pH عند حوالى ٧,٠- ٧,٥ (عن Nelson ١٩٨٥).

حجم أجزاء مكونات المكمورة

يحدث التحلل لمكونات المكمورة عند سطح الجزيئات المتحللة أو قريبًا منه، حيث يتوفر النيتروجين، وتتواجد الكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية التحلل. ولذا .. فإن الجزيئات الصغيرة التى تُزداد فيها المساحة السطحية لكل وحدة وزن منها تزداد سرعة تحللها متى كانت التهوية فيها جيدة. ويمكن لسرعة تحلل مكونات المكمورة أن تتضاعف إذا ما تم طحن تلك المكونات مسبقًا، إلاّ أن الحجم المناسب للجزيئات يتراوح بين ١,٥ سم فى حالة التهوية بالدفع الجبرى للهواء خلال المكمورة إلى ٧,٥ سم فى حالة التهوية السلبية العادية مع التقليب.

ونظرًا لأن الأكسجين لا يمكنه الوصول بسهولة إلى مركز الجزيئات التى يزيد قطرها عن السنتيمتر، فإن التحلل عند المركز يكون غالبًا لا هوائيًا وبطيئًا. هذا .. إلاّ أن مشكلة التحلل اللاهوائى ربما تكون أكبر عند صغر أحجام الجزيئات المكونة للمكمورة، حيث تكون الفراغات المتواجدة بين جزيئاتها صغيرة الحجم وممتلئة بالماء بفعل الخاصية الشعرية.

وتتأثر مسامية المكمورة بشكل الجزيئات المكونة لها وحجمها، وكيفية ترتيبها معًا، فجميعها عوامل تؤثر فى مدى اندماج الجزيئات معًا، ومدى ملئها للفراغات

بينها، ومن ثم تؤثر فى مدى نفاذية ومسامية المكمورة. وحتى مع توفر مسافات بينية غير مملوءة بالماء، فإن حركة الهواء فى المسافات البينية الضيقة تكون أضعف من حركته فى المسافات الواسعة؛ بسبب احتكاك الهواء بالحبيبات المحيطة بتلك المسام، فضلاً عن أن تلك المسام ليست أنابيب مستقيمة متصلة، وإنما هى كثيرة التعرجات، وكثيرًا ما تكون مغلقة، مما يزيد من مقاومة نفاذ الهواء خلالها.

نسبة الكربون إلى النيتروجين فى مكونات المكمورة

عندما ينخفض كثيرًا مستوى النيتروجين فى مكونات المكمورة فإن الكائنات الدقيقة لا يمكنها النمو والتكاثر بمعدلات عالية، مما يؤدى إلى بطء التحليل. وفى المقابل فإن زيادة النيتروجين كثيرًا يسمح بالتكاثر الميكروبى السريع، ومن ثم سرعة التحلل، إلا أن ذلك قد يترتب عليه ظهور روائح كريهة نتيجة الاستهلاك السريع للأكسجين وحدوث تنفس ونشاط ميكروبى لا هوائى. وبالإضافة إلى ذلك فإن جزءًا من النيتروجين الزائد ينطلق فى الهواء على صورة غاز الأمونيا الذى يشكل جزءًا من تلك الروائح الكريهة، فضلاً عما يعنيه ذلك من فقد فى النيتروجين، ولذا .. يجب تداول المخلفات الغنية بالنيتروجين — مثل المخلفات الخضراء الغضة — بحرص شديد، مع خلطها بمخلفات أخرى غنية بالكربون. وأفضل نسبة يمكن البدء بها للكربون إلى النيتروجين هى ٣٠ : ١ بالوزن، حيث تكون الكائنات الدقيقة التى تقوم بتحليل المادة العضوية فى أوج نشاطها.

وتتباين نسبة الكربون إلى النيتروجين (C/N ratio) فى مختلف المواد العضوية التى يمكن أن يجهز منها الكمبوست، كما يلى:

المادة	نسبة الكربون إلى النيتروجين
مخلفات الثمار فى مصانع الأغذية	٣٥ : ١
الأوراق الجافة	٤٠ — ٦٠ : ١
مخلفات قصب السكر	٥٠ : ١
حطب الذرة	٦٠ :١
القش	٤٠— ١٠٠ :١

(يتبع)

(تابع):

المادة	نسبة الكربون إلى النيتروجين
الورق	١٧٠ : ١
نشارة الخشب	٥٠٠ : ١
الخشب	٧٠٠ : ١
قلف الأشجار	١٢٠ : ١
سبلة الماشية	٢٠ : ١
الأوراق الصغيرة النامية	٢٠ : ١
سبلة الخيل	٢٥ : ١
النموات الخضرية البقولية	١٥ : ١
سبلة الدواجن	١٠ : ١
مخلفات الخضر والفاكهة فى مصانع الأغذية	١٢- ٣٥ : ١

تعرف المواد الغنية بالكربون باسم browns، بينما تعرف تلك الغنية بالنيتروجين (التى ينخفض فيها نسبة الكربون إلى النيتروجين) باسم greens، حتى وإن لم تكن ورقية خضراء مثل سبلة الدواجن.

يتعين تحديد نسبة الكربون إلى النيتروجين (C/N) فى مخلوط المواد الداخلة فى عمل المكمورة، علمًا بأن النباتات الخضراء تنخفض فيها تلك النسبة، بينما تزداد النسبة فى المكونات الجافة. وإذا ما كان المخلوط شديد الانخفاض فى النيتروجين فإن حرارته لا ترتفع، بينما يمكن أن ترتفع الحرارة إلى درجة قاتلة للكائنات الدقيقة إذا كان المخلوط شديد الارتفاع فى محتواه من النيتروجين، وقد تصبح بيئة الكمر لا هوائية جراء استهلاك الأكسجين فى النشاط الميكروبى؛ مما يؤدى إلى ظهور روائح كريهة. وأفضل نسبة كربون إلى نيتروجين يمكن البدء بها هى ٣٠ :١، علمًا بأن هذه النسبة تنخفض — تدريجيًا — أثناء الكمر مع تحول جانب من الكربون إلى ثانى أكسيد كربون (مع افتراض بقاء الفقد النيتروجينى فى حدود منخفضة) إلى أن تصل النسبة إلى ١٠ :١ فى المنتج النهائى.

وإذا عُلِمَ محتوى النيتروجين فى أحد مكونات المكمورة، ولكن لم يُعلم محتوى الكربون أو نسبة الكربون إلى النيتروجين، فإنه يمكن تقدير نسبة الكربون إذا عُلم محتوى المواد الصلبة القابلة للتطاير volatile solids content، وهى المكونات (غالبيتها كربون وأكسجين ونيتروجين) التى تحترق وتتبخر من العينة الجافة عند تعريضها لحرارة ٥٠٠ – ٦٠٠°م، حيث لا يتبقى من العينة سوى الرماد (الذى تكون غالبيته من الكالسيوم والمغنيسيوم والفوسفور والبوتاسيوم وعناصر معدنية أخرى لا تتأكسد). ونجد فى معظم المواد العضوية أن نسبة الكربون تتراوح بين ٤٥٪، و٦٠٪ من محتوى المواد الصلبة القابلة للتطاير، بمتوسط قدره حوالى ٥٥٪ (Richard – Cornell composting – ٢٠١٠ – الإنترنت).

ولأجل التوصل إلى نسبة الكربون إلى النيتروجين التى يُرغب فى البدء بها، تتبع الخطوات التالية:

١– يتعرف على نسبة الكربون إلى النيتروجين من الجداول التى تعرض تلك المعلومة للمواد الداخلة فى تكوين المكمورة.

٢– يتم تحديد نسبتا النيتروجين والرطوبة فى كل مادة بالتحليل المعملى.

٣– تحسب نسبة الكربون فى كل مادة من المعادلة التالية:

نسبة الكربون = نسبة النيتروجين الفعلية بالمادة × نسبة الكربون إلى النيتروجين فيها.

٤– تُحسب نسبة الكربون إلى النيتروجين فى مخلوط مكونات المكمورة حسب المعادلة التالية:

نسبة الكربون إلى النيتروجين = [كمية المكون الأول بالوزن (نسبة الكربون فى المكون الأول × (١٠٠ – نسبة الرطوبة فى المكون الأول)] + [كمية المكون الثانى بالوزن (نسبة الكربون فى المكون الثانى × (١٠٠ – نسبة الرطوبة فى المكون الثانى)] + ... إلخ/ [كمية المكون الأول بالوزن (نسبة النيتروجين فى المكون الأول × (١٠٠ – نسبة

الرطوبة فى المكون الأول)] + [كمية المكون الثانى بالوزن (نسبة النيتروجين فى المكون الثانى × (١٠٠ – نسبة الرطوبة فى المكون الثانى)] + ... إلخ.

وإذا تكون المخلوط من مادتين – وليكونا مخلفات نباتية خضراء وقش – فإنه يمكن تحديد الكمية التى يتعين استعمالها من القش فى المخلوط للحصول على نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوب فيها لبدء الكمر إذا علمت نسب الكربون والنيتروجين والمحتوى الرطوبى للمادتين، والكمية المتوفرة من المخلفات الخضراء، وذلك حسب المعادلة التالية:

الكمية المطلوبة من القش = {الكمية المستعملة من المخلفات الخضراء × نسبة النيتروجين فى المخلفات الخضراء × [نسبة الكربون إلى النيتروجين غى المخلفات الخضراء – (نسبة الكربون فى المخلفات الخضراء / نسبة النيتروجين فى المخلفات الخضراء)] × (١٠٠ – نسبة الرطوبة فى المخلفات الخضراء)}/{نسبة النيتروجين فى القش × [(نسبة الكربون فى القش/ نسبة النيتروجين فى القش) – نسبة الكربون إلى النيتروجين فى القش] × (١٠٠ – نسبة الرطوبة فى القش)}.

وطبيعى أنه يمكن تطبيق هذه المعادلة على أى مكونين للمكمورة (Richard & Trautmann – Cornell Composting – الإنترنت – ٢٠١٠).

وفيما يلى تكرارًا – بالإنجليزية – لمعادلات التوصل إلى نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوب فيها فى مخلوط المكمورة (R).

- المعادلة الأساسية لحساب نسبة الكربون إلى النيتروجين فى مكونات المكمورة:

$$R = [Q_1(C_1\times(100-M_1) + Q_2\ (C_2\times100-M_2)+Q_3C_3\times(100-M_3)+\ldots] / [Q_1(N_1\times(100-M_1) + Q_2(N_2\times(100-M_2) + Q_3(N_3 \times (100-M_3)+\ldots\ ]$$

- ولتحديد كمية مادة من مادتين للوصول إلى نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوبة:

$$Q_2 = \{Q_1 \times N_1 \times [R-(C_1/N_1)] \times (100-M_1)\} / N_2 [(C_2/N_2)-R) \times] (100-M_2)$$

• ولتحديد كمية مادة من ثلاث مواد للوصول إلى نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوبة.

$$Q_3=RQ_1N_1(100-M_1)+RQ_2N_2(100-M_2)-Q_1C(100-M_1)-Q_2C_2(100-M_2)/Q_3(100-M_3)-RN_3(100-M_3).$$

حيث إن:

R: نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوب فيها في مخلوط المكمورة.

Q: الكميات الفعلية الرطبة الطازجة من مختلف المكونات 1، 2، 3 ...إلخ.

M: النسبة المئوية للرطوبة في مختلف المكونات 1، 2، 3 ...إلخ.

C: النسبة المئوية للكربون في مختلف المكونات 1، 2، 3 ...إلخ.

N: النسبة المئوية للنيتروجين في مختلف المكونات 1، 2، 3 ...إلخ.

يجب الحرص عند تعديل نسبة الكربون إلى النيتروجين في مكونات المكمورة بإضافة النيتروجين المعدني؛ ذلك لأن الكائنات الدقيقة تستهلكه سريعًا، على خلاف النيتروجين المتوفر في المخلفات العضوية والذي يكون أبطأ تيسرًا، والذي يضاف طبقًا للمعادلات التي أسلفنا بيانها. إن توفر النيتروجين من المصادر العضوية يكون تبعًا لمعدل وتكاثر الكائنات الدقيقة التي تقوم بتحليل مكونات الكمبوست؛ وبذا .. فإنها تكون أكثر كفاءة في إمداد الكائنات الدقيقة بحاجتها من النيتروجين عن الأسمدة المعدنية. وتزداد مشكلة استخدام الأسمدة المعدنية في الجو البارد، حينما ينخفض كثيرًا نشاط الكائنات الدقيقة وتقل — تبعًا لذلك — حاجتها للنيتروجين. وللتغلب على تلك المشكلة — ولو جزئيًا — يوصى بأن تكون إضافة النيتروجين المعدني بكميات بسيطة على عدة

دفعات. ويستدل من وجود رائحة الأمونيا فى الكمبوست أثناء تحلله على زيادة جرعات النيتروجين المضافة عن قدرة الكائنات الدقيقة على تثبيته فى صورة مركبات يصعب تحللها سريعًا. وعمومًا .. فإن إضافات النيتروجين المعدنى تكون فى حدود ١/٢ إلى ٢/٣ الكمية التى يستدل عليها من المعادلات، وهى التى تكون خاصة بالمصادر العضوية للنيتروجين.

المكونات الكربونية البوليمرية وأهميتها

تتكون الجدر الخلوية النباتية من ثلاثة مكونات، هى: السليليلوز، واللجنين، ونصف السيليلوز hemicellulose. ويعد اللجنين — خاصة — صعب التحلل، كما أنه يقلل التيسر البيولوجى للمكونات الخلوية الأخرى بالنسبة للكائنات الدقيقة التى تحللها.

إن السيليلوز عبارة عن سلسلة طويلة من جزيئات الجلوكوز التى ترتبط معًا برابطة β(1-4) جلوكوسيدية. ونظرًا لبساطة تركيب السيليلوز فإنه يتحلل بفعل عدد قليل من الإنزيمات. وعلى الرغم من عدم قدرة الإنسان على تحليل السيليلوز، فإن بعض الكائنات الدقيقة يمكنها ذلك. وتوفر الماشية وغيرها من المجترات بيئة مناسبة فى جهازها الهضمى لبقاء ونشاط تلك الكائنات الدقيقة التى تقوم بتحليل السيليلوز وتحويله إلى أحماض دهنية ونمو ميكروبى، حيث يمكن لمعدة الحيوان أن تهضم تلك الميكروبات ذاتها وتستفيد منها.

أما نصف السيليلوز فهو بوليمر متفرع يتكون من كل من: الزيلوز xylose، والأرابينوز arabinose، والجالاكتوز galactose، والمانّوز mannose، والجلوكوز glucose. يقوم النصف سيليلوز بلصق حزم من لُييفات السيليلوز cellulose fibrils معًا، لتكوين ميكرولُييفات microfibrils تُسهم فى ثبات الجدر الخلوية. كذلك يرتبط النصف سيليلوز مع اللجنين، لتكوين شبكة معقدة تضيف إلى متانة الجدر الخلوية، وتكون مقاومة للتحلل الميكروبى.

وأما اللجنين فهو بوليمر معقد من وحدات الفينيل بروبين phenyl propane يرتبط بعضه ببعض بعدة أنواع من الروابط الكيميائية. وبسبب ذلك التعقيد فإن التركيب المفصل للجنين لم يمكن التعرف عليه، فضلاً عن مقاومته الشديدة للتحلل الميكروبى. هذا .. إلاّ أن بعض الكائنات الدقيقة — وخاصة بعض الفطريات — تتوفر لديها الإنزيمات التى يمكنها تكسير جزيئات اللجنين إلى أجزاء. وتتحقق التفاعلات الأولى بواسطة إنزيمات معينة (extracellular lignin and manganese peroxidases) تفرزها فطريات العفن الأبيض. كذلك يمكن للأكيتنوميسيتات تحليل اللجنين، ولكنها لا تحلل سوى أقل من ٢٠٪ من كمية اللجنين الكلية المعرضة للتحلل. ولا يتم ذلك التحلل إلاّ فى الظروف الهوائية، أما فى الظروف اللاهوائية فإن اللجنين يقاوم التحلل لفترات طويلة جدًا.

وتعنى صعوبة تحلل اللجنين أن زيادة نسبته فى المواد العضوية المكونة للمكمورة يُضعف من تيسر المادة العضوية للتحلل، فضلاً عن أنه قد يشكل حاجزًا فيزيائيًا حول المادة العضوية الأخرى؛ مما يقلل من فرصة وصول الكائنات الدقيقة المحللة لها إليها (Cornell Composting - Richard — ٢٠١٠ — الإنترنت).

رطوبة المكمورة

يقل معدل التحلل كثيرًا عندما تنخفض رطوبة المكمورة عن ٣٥٪ — ٤٠٪، ويتوقف التحلل تمامًا عند رطوبة تقل عن ٣٠٪. وفى المقابل، فإن زيادة الرطوبة كثيرًا تعد أحد العوامل الرئيسية المسئولة عن التنفس اللاهوائى وتكوين الروائح الكريهة. ويتباين الحد الأقصى للرطوبة الممكن باختلاف مكونات المكمورة، ويتأثر بكل من حجم جزيئات المكمورة وبنائها، وهما الصفتان المؤثرتان فى مسامية المكمورة. وفى معظم المكامير يتراوح الحد الأقصى المناسب للرطوبة بين ٥٥٪ ، و٦٠٪. ونظرًا لأن عملية الكمر تعمل على جفاف مكونات المكمورة (بسبب التبخير الناشئ عن الحرارة العالية التى تُحدثها الكائنات الدقيقة

أثناء نشاطها)، فإنه يفضل أن تبدأ عملية الكمر بالحد الرطوبى الأعلى.

يلزم لكى يبدأ المخلوط المستعمل فى عمل المكمورة بنسبة الرطوبة المناسبة اتباع الخطوات التالية:

١- حساب النسبة المئوية للرطوبة فى كل مكون من المكونات التى يرغب فى إدخالها فى المكمورة، علمًا بأن: نسبة الرطوبة = [(الوزن الرطب لعينة من أحد المكونات — الوزن الجاف للعينة بعد تجفيفها على ١٠٥ — ١١٠°م لمدة ٢٤ ساعة)/الوزن الرطب] × ١٠٠.

٢- تحديد النسبة المئوية للرطوبة التى يُرغب فى البدء بها.

٣- حساب الكميات النسبية من المواد التى يُرغب فى إدخالها فى المكمورة، والتى تتحقق بها النسبة المئوية المرغوبة للرطوبة فى المخلوط، والتى تقدر كما يلى:

النسبة المئوية المرغوبة = [الكمية من المكون أ × نسبة محتواه الرطوبى) + (الكمية من المكون ب × نسبة محتواه الرطوبى) + (الكمية من أى مكون آخر × نسبة محتواه الرطوبى)...إلخ] / كمية المكون أ + كمية المكون ب + كمية أى مكون آخر ...إلخ.

ويمكن بالتعديل فى الكميات النسبية للمكونات التى يُعلم محتواها الرطوبى الوصول إلى النسبة المئوية للرطوبة المرغوب فيها فى المخلوط.

يسهل تطبيق تلك المعادلة عندما يُرغب فى تحديد كمية القش أو الحطب أو نشارة الخشب أو الأوراق الجافة أو غيرها من المكونات القليلة الرطوبة التى تلزم إضافتها لأجل خفض المحتوى الرطوبى إلى المستوى المرغوب فى خليط مع مواد عالية الرطوبة كالنموات النباتية الخضراء أو السبلة الحيوانية الطازجة. ويمكن دائمًا تحديد كميات المواد عالية الرطوبة — كل على انفراد — قبل استخدام المعادلة فى تحديد كمية المادة قليلة الرطوبة التى يتعين خلطها معها (Cornell Composting –Trautmann & Richard — ٢٠١٠ — الإنترنت).

وفيما يلى معادلات التوصل إلى الرطوبة المرغوب فيها فى مخلوط المكمورة (G)

- المعادلة الأساسية (التى أسلفنا بيانها بالعربية) لتحديد نسبة الرطوبة فى المخلوط:

$$G = (Q_1 \times M_1)+(Q_2 \times M_2)+(Q_3 \times M_3)+ \ldots / Q_1+Q_2+Q_3+\ldots$$

- ولتحديد كمية مادة من مادتين للوصول إلى الرطوبة المرغوبة:

$$Q_2 = [(Q_1 \times G) - (Q_1 \times M_1)] / M_2 - G$$

- ولتحديد كمية مادة من ثلاث مواد للوصول إلى الرطوبة المرغوبة:

$$Q_3 = [(G \times Q_1)+(G \times Q_2)-(M_1 \times Q_1)-(M_2 \times Q_2)] / M_3 - G$$

حيث إن:

G: الرطوبة المرغوب فيها فى مخلوط المكمورة.

Q: الكميات الفعلية الرطبة الطازجة من مختلف المكونات 1، 2، 3 ...إلخ.

M: النسبة المئوية للرطوبة فى مختلف المكونات 1، 2، 3 ...إلخ.

مشاكل الكمر والحلول المقترحة لها

من بين مشاكل الكمر والحلول المقترحة لها، ما يلى:

العَرَضْ	المشكلة	الحل
• وجود روائح كريهة	عدم توفر الهواء بالقدر الكافى	قلب الكومة، مع إضافة مواد عضوية جافة إن كانت رطوبة الكومة زائدة
• جفاف مركز الكومة	عدم تزويد الكومة بالقدر الكافى من الرطوبة	ترطيب الكومة وقلبها
• مركز الكومة — فقط — هو الذى يدفأ قليلاً	صغر حجم الكومة	إضافة مادة عضوية جديدة للكومة وخلطها بها
• جودة مظهر الكومة وجودة رائحتها، ولكن حرارتها تبقى غير عالية	نقص النيتروجين	إضافة مصدر عضوى للنيتروجين، مثل المواد العشبية الغضة والسبلة

الروائح الكريهة للمكمورة: أسبابها ووسائل تجنبها

قد يبدأ ظهور الروائح فى مكونات المكمورة حتى قبل تجهيز المكمورة، وذلك عندما تكون تلك المكونات قد خزنت فى ظروف لا هوائية لمدة أسبوع أو أكثر قبل نقلها للموقع. وما أن تخلط مكونات المكمورة معًا، فإن مشاكل الروائح الكريهة التى قد تظهر تكون نتيجة لنقص الأكسجين داخل المكمورة. يتولد عن الظروف اللاهوائية إنتاج مدى واسع من المركبات. وتعد المركبات الكبريتية المختزلة أشدها إسهامًا فى الروائح الكريهة، ومن أمثلتها:

- dimethyl disulfide
- hydrogen sulfide
- methanethiol
- dimethyl sulfide

وكذلك مركبات الأحماض الدهنية المتطايرة، والمركبات الأخرى المتطايرة والأمينات. وتعد الأمونيا أكثر المركبات شيوعًا، ولكنها يمكن أن تُنتج فى كل من الظروف الهوائية واللاهوائية.

ولا علاج لمشكلة الروائح — سواء أكانت من المواد الأولية الواصلة للموقع، أم من المكمورة أثناء عملية الكمر — سوى بالتقليب، وخلط المكونات الدقيقة بأخرى ذات جزيئات أكبر، وتوفير كافة الظروف التى تسمح بحرية نفاذ الهواء إلى داخل كومة المكمورة.

وتجدر الإشارة إلى أن الغازات ذات الروائح الكريهة التى تنبعث من مركز المكمورة — حيث تسود فيها ظروف لاهوائية — قد تتعرض للتأكسد البيولوجى أثناء مرورها على الأجزاء الخارجية من المكمورة — التى تسود فيها ظروف هوائية — وذلك بفعل بعض الكائنات الدقيقة المتواجدة فيها، وهى العملية التى تعرف باسم "الترشيح البيولوجى فى المكان" in situ biofilteration. هذا .. علمًا بأن الإكثار من تقليب كومة المكمورة يحد كثيرًا من كفاءة عملية الترشيح البيولوجى.

تظهر رائحة الأمونيا فى كل من الظروف الهوائية واللاهوائية، وذلك عندما يتوفر النيتروجين بتركيزات عالية. تتميز الأمونيا بأن كثافتها منخفضة (تبلغ حوالى ٦٠٪ من كثافة الهواء)؛ ولذا .. فهى تتسرب إلى أعلى سريعًا ولا تتجمع فى الأماكن المنخفضة كما يحدث بالنسبة للغازات الكبريتية.

ومن بين العوامل المؤثرة فى تطاير الأمونيا الرقم الأيدروجينى؛ فالأمونيا الغازية NH_3، وأيون الأمونيوم NH_4^+ يكونا فى حالة توازن عند pH = ٩,٠، وبارتفاع الـ pH عن ذلك يتحول أيون الأمونيا إلى أمونيا غازية تتسرب إلى الهواء الخارجى. وعلى العكس من ذلك فإنه بانخفاض الـ pH عن ٩,٠ يزداد أيون الأمونيوم على حساب الأمونيا الغازية التى ينخفض تركيزها إلى الصفر عند pH حوالى ٧,٥.

ومن أهم العوامل التى تؤدى إلى تكوين الروائح التى تنتج فى الظروف الاهوائية فى ما يلى:

١- الرطوبة الزائدة بالمكمورة.

٢- ضعف مسامية المكمورة.

٣- تواجد مكونات شديدة القابلية للتحلل بالمكمورة.

٤- زيادة حجم كومة المكمورة عما ينبغى.

إن جميع هذه العوامل تجعل من الصعوبة أن ينفذ الأكسجين خلال الكومة قبل استنفاذه، أو أنها تسمح بنفاذ الهواء خلال أقل المنافذ مقاومة حول أجزاء كبيرة تكون فيها الظروف لاهوائية.

هذا ويتحرك الأكسجين خلال الكومة بفعل ظاهرة الانتشار diffusion (من الأجزاء التى يزداد فيها تركيزه حتى ٢١٪ - كما فى الهواء — إلى الأجزاء التى يقل فيها تركيزه كثيرًا فى مركز الكومة)، والحمل convection مع التهوية السلبية.

إن الرطوبة الزائدة تُسرع من تكوين الظروف اللاهوائية لسببين، هما:

١- تُعد جزيئات الكمبوست محبة للرطوبة hydropillic حيث تـدمص جزيئـات الماء وتجذبها إليها بقوة، وتزداد سمك طبقة الماء التى تحـيط بـا بزيـادة الرطوبـة، بمـا يعنى صعوبة نفاذ الأكسجين إلى وسط جزيئات الكمبوست، نظرًا لـبطء نفـاذ الأكـسجين خلال الماء مقارنة بنفاذه خلال الهواء.

٢- تمتلئ المسافات البينية (وهى المسام التى توجـد بـين جزيئـات مكونـات المكمـورة) بالماء بفعل الخاصة الشعرية، مما يبطئ من انتشار الهواء وسرعة تكوين الظروف اللاهوائية.

خصائص الكمبوست ومكوناته

تتباين نتائج تحليل الكمبوست حسب المكونـات الأوليـة التـى تـدخل فـى تكوينـه وظروف الكمر، كما يلى:

الخاصية	مدى التحلل
اللون	بنى داكن إلى أسود
القوام	إسفنجى
السعة التشبعية بالماء	١٣٥٪ - ٣٠٠٪
وزن المتر المكعب الجاف	٤٤ — ٦٢٥ كجم
وزن المتر المكعب الرطب	٥٧٥ — ٧٧٥ كجم
الرطوبة	٢٠٪ - ٣٠٪
الـ pH (١ : ١٠)	٦,٦- ٨,٢
الـ EC (١ : ١٠)	١,٦- ٧,٥ ديسى سيمنز/م
النيتروجين الكلى	١,٢٪ - ٢,٥٪
النيتروجين الأمونيومى	٢٥٠ — ٦٠٠ جزء فى المليون
النيتروجين النتراتى	٢١ — ٣١٥ جزء فى المليون
المادة العضوية	٣٣٪ - ٧٥٪
الكربون العضوى	١٩٪ - ٣٤٪
الدبال كنسبة مئوية من المادة الصلبة	٨,٨٪
الدبال كنسبة مئوية من المادة العضوية	٢٢,٧٪

يتبع

تابع.

الخاصية	مدى التحلل
الرماد	٢٥٪ – ٦٥٪
نسبة الكربون إلى النيتروجين	١٥ : ١ إلى ٢١ : ١
الفوسفور الكلى	٠,٣٥٪ – ١,٥٪
البوتاسيوم الكلى	٠,٦٪ – ٣,٤٪
الكالسيوم	٣٨٥ جزء فى المليون
الحديد	٦٣٠ – ١٩٦٠ جزء فى المليون
المنجنيز	٣٠ – ٣٧٠ جزء فى المليون
النحاس	٣ – ٢٠٠ جزء فى المليون
الزنك	١٤ – ٣٨٠ جزء فى المليون

هذا .. إلا أن تحليل الكمبوست وخصائصه تختلف – أيضًا – باختلاف مدة تحلل المكمورة، كما يتبين من جدول (٢–١٩).

جدول (٢–١٩): خصائص المكمورة (٢ سبلة ماشية: ١ قش قمح بالحجم) الطازجة (التى لم تكمر بعد) والحديثة الكمر (بعمر ٧٤ يوم)، والتى وصلت إلى مرحلة الثبات (بعمر ١١١ يوم (عن Raviv ٢٠٠٥).

الخاصية	فئة الكمبوست		
	طازج	حديث	قديم (ناضج)
عمر الكمبوست (يوم)	صفر	٧٤	١١١
المادة العضوية (٪)	٧٤,٨	٥٥,٧	٥٣,٣
النيتروجين (٪)	١,٦٧	٢,١٧	٢,٣٩
الفوسفور (٪)	٠,٥٢	٠,٧٩	٠,٧٤
البوتاسيوم (٪)	١,٣١	١,٧٩	٢,١١
الـ pH (١٠ : ١ مستخلص مائى)	٧,٦	٧,٥	٦,٨
التوصيل الكهربائى (ديسى سيمنز/م)	٤,٠٢	٥,٧٦	٧,٧٤
النيتروجين النتراتى (mmol/l)	٠,٠١	٠,٣	١٦٤,٤

يتبع

تابع جدول (٢-١٩).

الخاصية	فئة الكمبوست		
	طازج	طازج	طازج
النيتروجين الأمونيومى (mmol/l)	٠,٩	١٤,٩	١٩,٥
النيتروجين العضوى الذائب (جزء فى المليون)	١٤٢,٩	٩٨,٧	٨١,٥
نسبة الكربون إلى النيتروجين	١: ٢٦	١: ١٥	١: ١٣
الاحتياجات البيولوجية للأكسجين (جم لكل كجم / يوم)	١٦,١	٩,٣	٤,٧

الفيرميكمبوست

إن الـ vermicomposting هى العملية التى تتحلل فيها أو تكمر المادة العـضوية بواسطة الديدان الأرضية، وفيها يكون الكمر أسرع كثيرًا وأسهل عما فى الكمر العـادى، ويرجع ذلك إلى أن الديدان يمكنها هضم وزنها من المادة العـضوية يوميًـا، وتنـتج منتجًـا يطلق عليه فيرميكمبوست vermicompost يكون أغلى وأعلى فى محتواه من العناصـر المغذية عما يكون عليه الحال فى الكمبوست التقليدى.

يعرف الفيرميكمبوست — كذلك — باسـم مخرجـات الديـدان worm castings، ودبال الديـدان worm humus، وسـبلة الديـدان worm manure، وجميعهـا تعنـى المنتج النهائى لتحلل المادة العضوية بواسطة بعض أنواع الديدان الأرضية.

وأكبر أنواع الديدان الأرضية استعمالاً لهذا الغرض، هى:

- Red wigglers (*Eisenia foetida* or *E. andrei*).
- European nightcrawlers (*E. hortensis*)
- Blue worms (*Perionyx excavatus*).

والنوع الأخير هو الأكثر شيوعًا فى المناطق الاسـتوائية. وتتواجـد جميـع الأنـواع — حسب توزيعها الجغرافى — فى الأراضى الخصبة الغنية بالمادة العضوية، حيـث تعـيش على تلك المادة العضوية.

يُنتج الفيرميكمبوست تجاريًا فى كندا وإيطاليا واليابان والفلبين والولايات المتحدة، حيث تتوفر فيها المعامل التى تقوم بتربية الديدان، كما يمكن تجميع الديدان اللازمة من الأراضى الخصبة وأكوام السبلة.

وقد استخدم المستخلص المائى للفيرميكمبوست فى مكافحة بعض الآفات. حُضِّر المستخلص المائى بخلط الكمبوست مع الماء بنسبة ١ : ٥ بالحجم، فكان المستخلص ٢٠٪ محلول مائى. ودرس بعد ذلك تأثير سقى التربة بتخفيضات ٢٠٪، و١٠٪، و٥٪ من مستخلص الفيرميكمبوست عند إنبات البذور، ثم أسبوعيًا بعد ذلك — على إصابة الطماطم والخيار بكل من منّ الخوخ الأخضر *Myzus persicae*، وخنفساء الموالح المغبرة *Planococcus citri*، والعنكبوت الأحمر *Tetranychus urticae*. ولقد وجد أن جميع معاملات المستخلص المائى للفيرميكومبوست ثبطت جوهريًا الإصابة بالآفات الثلاث، وثبطت معدل تكاثرها، كما أدت — عند استعمال أعلى تركيز — إلى موت الآفات المتواجدة بالفعل على النباتات بعد ١٤ يومًا من المعاملة. وبصورة عامة.. تناسب معدل التثبيط طرديًا مع تركيز المستخلص المائى المستعمل. وربما حدث التثبيط بسبب المركبات الفينولية الذائبة الكبيرة التى تتواجد فى الكمبوست، والتى يعتقد بامتصاص النباتات لها، وهى مواد تعرف بكونها غير جذابة للآفات، فضلاً عن تأثيرها السلبى على معدل تكاثر الآفات وبقائها (Edwards وآخرون ٢٠١٠).

كما وجد أن الفيرميكمبوست يمكن استعماله كحامل لبكتيريا الأسمدة الحيوية *Azotobacter chrococcum*، و *Bacillus megaterium*، و *Rhizobium leguminosarum*، حيث احتفظت فيه بحيويتها لمدة وصلت إلى عشرة شهور؛ الأمر الذى لم يحدث عندما استعمل اللجنيت lignite كمادة حاملة (Sekar & Karmegam ٢٠١٠).

وقد أدت إضافات الفرميكمبوست (بمعدل ٣,٢ طن للفدان) — مع أسمدة عناصر كبرى (بمعدل ٢٥ كجم N، و١٢,٦ كجم P_2O_5، و ١٢,٦ كجم K_2O للفدان) إلى زيادة دلائل النمو (ارتفاع النبات والمساحة الورقية) ووزن الثمرة ومحصول الثمار ومحتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية، وقدرتها على تحمل التخزين فى الطماطم. كما أن المعاملة

بالفرميكمبوست — منفردًا — أدت إلى زيادة قدرة الثمار على تحمل التخزين بنحو ٢٥٪، ومحتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية لأكثر من ٤,٥٪ (Singh وآخرون ٢٠١٠).

إضافات البيت

تتوفر تجاريًّا أنواع من البيت peat، يتم تحضيرها بالمعاملة الحرارية لمخلفات نباتية مثل الأوراق وقلف أشجار بعض الأنواع النباتية، ويتم تعقيمها بالبخار تحت ضغط على حرارة عالية تصل إلى ١٣٤°م، وتستخدم كإضافات للتربة.

ويكون تحليل هذه النوعية من البيت، كما يلي:

الخاصية	التحليل
وزن المتر المكعب	١٠٠ كجم
الرطوبة	١٣,٢٪
الـ pH (١ : ١٠)	٦,٣
الـ EC (١ : ١٠)	٠,٩٥ ديسى سيمنز/م
النيتروجين الكلى	٠,٥٣٪
النيتروجين الأمونيومى	١١٣ جزء فى المليون
النيتروجين النتراتى	لا يوجد
المادة العضوية	٩٥٪
الكربون العضوى	٥٥٪
الرماد	٥٪
نسبة الكربون إلى النيتروجين	١٠٤ : ١
الفوسفور الكلى	٠,٠٥٪
البوتاسيوم الكلى	٠,٤٥٪
نسبة التشبع بالماء	١٠٠٠٪

أما تحليل البيت موس فإنه يكون — غالبًا — فى الحدود التالية:

الخاصية	التحليل
الـ pH	٥,٥ — ٦,٠
الـ EC	١,٣٩
الحديد	٢,٢ جزء فى المليون
المغنيسيوم	١,٣ جزء فى المليون
الكالسيوم	١,٣ جزء فى المليون
المنجنيز	٣,٣ جزء فى المليون
الزنك	٠,٧ جزء فى المليون
الكبريت	٢,٣ جزء فى المليون

مستخلصات الأعشاب البحرية

تتوفر بالأسواق منتجات تجارية كثيرة لمستخلصات الأعشاب البحرية التى تستخدم فى التسميد ويُمثل المنتج التجارى أكتى ويف Actiwave المستخلص من الأعشاب البحرية جيلاً جديدًا من تلك المستخلصات التى يمكن أن تخفض من الاعتماد على المركبات الكيميائية المصنعة فى الزراعة. يُحصل على هذا المنتج — الذى يعد محفزًا للأيض — من الطحلب *Ascophillum nodosum*، ولكنه يختلف عن مستخلصات الأعشاب البحرية الأخرى ؛ فهو يحتوى على تركيبة ثابتة ومتوازنة تضم كلاً من الكايدرين الـ kahydrin، وحامض الألجينك aliginic acid، والبتينات betaines، التى تعمل معًا بطريقة تداؤبية تُسهم فى كفاءة المنتج. وينسب إلى الأكتى ويف زيادته لامتصاص النباتات للعناصر وتحسين تحملها لظروف الشدّ. وعندما عوملت نباتات الفراولة به فإنه أدى إلى زيادة النمو الخضرى بنسبة ١٠٪، ومحتوى الأوراق من الكلوروفيل بنسبة ١١٪، وكثافة الثغور بنسبة ٦,٥٪، ومعدل البناء الضوئى وإنتاج الثمار بنسبة ٢٧٪، وكذلك زيادة وزن الثمرة. وظهرت أكبر تأثيراته فى زيادته للكتلة

الحيوية النباتية، حيث ازدادت كتلة النمو الخضرى بنسبة ٢٧٪، وكتلة النمو الجذرى بنسبة ٧٦٪ (Spinelli وآخرون ٢٠١٠).

توفير حاجة النباتات من مختلف العناصر المغذية من الأسمدة العضوية

النيتروجين

لا يتوفر النيتروجين من المادة العضوية إلاّ إذا تحللت بفعل النشاط الميكروبى؛ الأمر الذى يعتمد على توفر كل من الرطوبة والدفء، اللذان لا يمكن بغيرهما تيسر النيتروجين من المادة العضوية التى تضاف إلى التربة، علمًا بأن الارتفاع فى درجة الحرارة والزيادة فى رطوبة التربة — حتى الحدود المثلى لنشاط الكائنات الدقيقة المحللة للمادة العضوية — يتناسب طرديًا مع معدل تيسر النيتروجين.

تعرف عملية تيسر النيتروجين من المادة العضوية بفعل الكائنات الدقيقة باسم "معدنة النيتروجين" nitrogen mineralization. وعلى الرغم من أن تلك العملية يمكن أن توفر كميات جوهرية من النيتروجين فإن تقدير كميات العنصر التى تتوفر مع الوقت يُعد عملية معقدة لتأثرها بعدة عوامل.

ومن أهم العوامل التى تؤثر فى معدنة النيتروجين من المادة العضوية، ما يلى:

١- حرارة التربة:

تكون عملية المعدنة شديدة البطء فى حرارة أقل من ١٠ ْم، ويزداد معدل المعدنة بارتفاع الحرارة عن ذلك.

٢- رطوبة التربة:

تكون عملية المعدنة سريعة فى الأراضى الرطبة، ولكنها تُثبط فى ظروف الجفاف والرطوبة الزائدة.

٣- عمليات الحراثة :

تتسبب حراثة التربة فى حدوث تحفيز مؤقت فى نشاط الكائنات الدقيقة فى التربة، ينخفض فى خلال أيام أو أسابيع قليلة.

وعلى الرغم من تعقيد التفاعلات بين تلك العوامل، فإنه يمكن إيجاد تقدير تقريبى لمعدل المعدنة من المادة العضوية فى التربة تأسيسًا على كمية النيتروجين العضوى الموجودة فى التربة، ونسبة هذا النيتروجين الذى يمكن أن يتمعدن خلال فترة من الوقت.

تكون أول خطوة هى تقدير كمية النيتروجين العضوى الموجودة فى التربة. ويمكن الحصول على ذلك التقدير مباشرة باختبار معملى، أو قد يمكن الاستدلال عليه من محتوى التربة من المادة العضوية. ونجد فى معظم الأراضى الزراعية أن النيتروجين العضوى يشكل حوالى ٧٪ من المادة العضوية فى التربة، وتحدث غالبية معدنة النيتروجين فى الثلاثين سنتيمترًا العلوية من التربة.

ولقد أظهرت عديد من الدراسات أن حوالى ٢٪ من النيتروجين العضوى يتمعدن — عادة — كل شهرين على حرارة ٢٥ °م. وعندما تكون نسبة المادة العضوية فى التربة ١٪، فإن ذلك يعنى أن كمية النيتروجين التى يمكن أن تتمعدن خلال شهرين = ١٣١٨ كجم نيتروجين عضوى بالفدان × ٠,٠٢ (نسبة النيتروجين العضوى التى تتمعدن) = ٢٦,٣٦ كجم نيتروجين للفدان. وتتأثر هذه الكمية بعديد من العوامل؛ فمثلاً يؤدى الرى بالرش إلى ابتلال كل سطح التربة؛ ولذا .. يكون التمعدن فى كل الحقل، بينما يكون التمعدن فى الأجزاء المبتلة فقط من الحقل فى حالة الرى بالتنقيط. كذلك يقل التمعدن — كما أسلفنا — فى الجو البارد وعند عدم كفاية الحراثة، وفى الأراضى الثقيلة التى قد تتعرض لزيادة كبيرة فى محتواها الرطوبى. وتجدر الإشارة إلى أن ذلك التقدير لكمية النيتروجين التى يمكن أن تتمعدن من مادة التربة العضوية لا يأخذ فى الاعتبار كميات

النيتروجين التى تُسهم بها الإضافات الحديثة من المواد العضوية سواء أكانت فى صورة مخلفات نباتية، أم كمبوست، أم إضافات عضوية أخرى.

ويبلغ معدل معدنة النيتروجين من مادة التربة العضوية والإضافات العضوية الحديثة أقصاه — عادة — قبل أن يصل المحصول إلى أعلى معدل له فى امتصاص النيتروجين. وحتى فى النظم العضوية، فإن فقد النيتروجين بالرشح أو فى صورة غازية (dentrification) — كما يحدث فى الأراضى الغدقة — يمكن أن يكون كبيرًا إذا وصل للتربة كميات كبيرة من الماء (سواء أكان ذلك من الأمطار أو من مياه الرى) فى بداية موسم النمو (Gaskell وآخرون ٢٠٠٦).

لا تحتاج الخضر ذات مواسم النمو القصيرة (مثل الفجل والسلق والكزبرة) — عادة، إلى مزيد من النيتروجين غير ذلك الذى يتوفر من معدنة نيتروجين التربة العضوى، ومما يضاف فى صورة كمبوست أو بقايا محصولية. هذا .. بينما تحتاج الخضر ذات الاحتياجات الأعلى من النيتروجين وذات مواسم النمو الأطول إلى إضافات أخرى من سماد نيتروجينى عضوى.

ويمكن تقسيم الخضر حسب حاجتها من النيتروجين خلال موسم النمو إلى ثلاث مجموعات، كما يلى:

١- خضر تقل حاجتها الكلية من النيتروجين عن ٥٥ كجم للفدان، وتتضمن: الفاصوليا — الخيار — الفجل — السبانخ — الكوسة.

٢- خضر تتراوح احتياجاتها الكلية من النيتروجين بين ٥٥، و٩٠ كجم، وتتضمن: الجزر — الذرة السكرية — الثوم — الخس — الكنتالوب- البصل — الفلفل — الطماطم.

٣- خضر تزيد احتياجاتها الكلية من النيتروجين عن ٩٠ كجم، وتتضمن: البروكولى — الكرنب — القنبيط — الكرفس — البطاطس (Gaskell وآخرون ٢٠٠٦).

الفوسفور

إن الزراعات العضوية التى تعتمد على السبلة لأجل توفير حاجة النباتات من النيتروجين تتوفر لها — كذلك — كافة احتياجاتها من الفوسفور، وبغير تلك السياسة فى توفير النيتروجين يتعين توفير حاجة النباتات من الفوسفور بناء على تحليل التربة.

ومن بين مصادر الفوسفور (والمصرح بها فى الزراعة العضوية) صخر الفوسفات والكمبوست. يفيد استعمال صخر الفوسفات — خاصة — فى الأراضى الحامضية التى يقل رقمها الأيدروجينى عن ٥,٥ وينخفض محتواها من الكالسيوم، علمًا بأن ذوبان صخر الفوسفات ينخفض كثيرًا فى الأراضى التى يرتفع رقمها الأيدروجينى عن ٥,٥. ويكون الفوسفور المتوفر فى الكمبوست ميسرًا بدرجة تتراوح بين ٧٠٪، و ١٠٠٪ (Nelson & Janke ٢٠٠٧). وتفضل إضافة الفوسفات إلى كومات الكمبوست أثناء تجهيزها، لأن النشاط الميكروبى المصاحب لتحلل المادة العضوية يساعد فى جعل الفوسفور المعدنى أكثر تيسرًا للنبات.

وكما فى حالة النيتروجين، يكون تيسر الفوسفور من المادة العضوية بطيئًا فى الجو البارد؛ الأمر الذى يتطلب إضافة مركبات عضوية غنية بالفوسفور السريع التيسر إلى جانب النباتات، خاصة وأن النمو الجذرى يكون بطيئًا فى الجو البارد، حتى ولو كانت التربة غنية بالفوسفور.

يُقدر الفوسفور الميسر فى التربة عند ارتفاع الـ pH عن ٦,٠ بطريقة الـ Olsen bicarbonates test. ومع حقيقة أن الفوسفور الميسر يقل فى الحرارة الأقل من ١٥,٦°م (٦٠°ف)، فإن المحاصيل التى تنمو فى الشهور الباردة من السنة تحتاج إلى مستويات أعلى من الفوسفور لتنمو جيدًا.

ونقدم — فيما يلى — بيانًا بالمستويات المناسبة من الفوسفور فى التربة — تبعًا للـ bicarbonate test لكل من خضراوات المواسم الدافئة وخضراوات المواسم الباردة.

المحصول	المستوى المناسب للفوسفور (جزء فى المليون)
خضراوات المواسم الدافئة	٢٠ — ٢٥
خضراوات المواسم الباردة	٥٠ — ٦٠

يعد الكمبوست وبعض الأسمدة العضوية مصادر جيدة للفوسفور. ومن المهم رصد مستوى الفوسفور فى التربة سنويًا، نظرًا لأنه يمكن أن يزيد سريعًا جراء إضافات الكمبوست والأسمدة العضوية الأخرى (Gaskell وآخرون ٢٠٠٦).

ويتوفر صخر الفوسفات الطبيعى فى عديد من المناطق بمصر، مثل واحة الخارجة، وأبو طرطور، والسباعية وغيرها، ويمكن الاستفادة منه فى الحصول على احتياجات النباتات من الفوسفور باستخدام الأنواع البكتيرية المذيبة له، مثل:

Paenibacillus polymyxa

Bacillus megaterium var. *phosphaticum*

تُفرز هذه البكتيريا أثناء نشاطها وتكاثرها أحماضًا عضوية، هى التى تفيد فى تيسر الفوسفور من صخر الفوسفات.

ويتطلب نشاط هذه البكتيريا مصدرًا للطاقة؛ الأمر الذى يمكن توفيره لها من أى مادة عضوية مثل الكمبوست، كما أن توفر عنصر البورون يفيد فى زيادة نشاط وتكاثر هذه البكتيريا. ولذا .. فقد أمكن عمل تحضير تجارى — حصل على براءة اختراع من أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا — يحتوى على صخر الفوسفات الطبيعى مضافًا إليه — بنسبة ٢٥٪ — كمبوست تام النضج سبقت معاملته بكل مما يلى:

- نوعا البكتيريا المذيبة للفوسفور اللذان سبق ذكرهما.

• محلول لحامض البوريك بتركيز ٠,٠٣٪، (وهو مسموح باستخدامه فى الزراعات العضوية).

• البكتيريا الحرة المثبتة لآزوت الهواء الجوى: *Azospirillum*، و*Azotobacter*.

يخلط الكمبوست المعامل بالأنواع البكتيرية وحامض البوريك خلطًا جيدًا بصخر الفوسفات.

كما يضاف إلى صخر الفوسفات المطحون جيدًا سيليكات الكالسيوم والمغنيسيوم بنسبة ٠,٠١٪ كمادة مانعة للتكتل والتحجر، وكذلك ٢٪ فحم كربون ناعم ناتج من متبقيات مكامير الفحم.

يعد هذا المخلوط الذى يتوفر تجاريًّا تحت اسم: "الموفر-بيو" مصدرًا لكل من الفوسفور والنيتروجين، وهو يصلح للاستعمال فى الزراعات العضوية.

ولقد أوضحت دراسات Bolland وآخرون (٢٠٠٨) أن صخر الفوسفات لا يمكن اعتباره بديلاً جيدًا للأسمدة المحتوية على فوسفور ذائب، ذلك أن كفاءة صخر الفوسفات تكون منخفضة فى السنة الأولى لإضافته وتبقى منخفضة كذلك فى السنوات التالية؛ مما يستلزم استعمال معدلات عالية جدًّا منه.

البوتاسيوم

لا يُعد التيسر البطئ للبوتاسيوم من معادن التربة كافٍ لمدّ النباتات بحاجاتها من العنصر، وبخاصة فى فترات الطلب الشديد عليه فى بعض مراحل النمو النباتى، ولكن هذا التيسر يمكن أن يُسهم فى تحسين خصوبة التربة على المدى الطويل.

هذا .. وتتوفر مصادر جيدة للبوتاسيوم يمكن استعمالها فى الزراعة العضوية، تتضمن المعادن مثل اللانجبينيت langbenite، والسلفينيت sylvinite، وسلفات

البوتاسيوم. كذلك يُعد رماد الخشب، والرمل الأخضر greensand. والأعشاب البحرية من مصادر البوتاسيوم، ولكن استعمالها لا يخضع لاعتبارات معينة؛ بسبب انخفاض محتواها من العنصر، وتأثيرها على pH التربة، وضعف ذوبانها، والحاجة إلى استعمال كميات كبيرة منها. ويتباين — كثيرًا — تركيز البوتاسيوم فى السبلة والكمبوست، ولكنه يكون ميسرًا لاستعمال النبات. ويمكن لبعض المعادن الصخرية توفير جزء من حاجة النبات من العنصر، إلاّ أن الكثير منها قليل الذوبان إلى درجة تجعل استخدامها غير عملى (Mikelsen ٢٠٠٧).

يفضل تقدير مستوى البوتاسيوم فى التربة بطريقة الاستخلاص بخلات الأمونيوم ammonium acetate extraction test. وعمومًا.. إذا كان مستوى البوتاسيوم فى التربة أعلى من ٢٠٠ جزء فى المليون، فإن التسميدالإضافى بالبوتاسيوم لا يفيد غالبًا فى زيادة المحصول. هذا إلا أن إضافات البوتاسيوم يمكن أن تعوض ما يفقد منه بالامتصاص وتحافظ على مستواه. وإذا ما انخفض مستوى البوتاسيوم فى التربة يكون من المطلوب التسميد بالعنصر. ويعد الكمبوست والأسمدة العضوية الأخرى مصادر جيدة للبوتاسيوم.

الكالسيوم والمغنيسيوم

تعد معظم الأراضى غنية فى الكالسيوم والمغنيسيوم والكبريت، ولكن يمكن زيادة محتوى التربة من الكالسيوم بإضافة الجبس الزراعى، ومن المغنيسيوم بإضافة ملح إبسوم Epsom salt الذى يحتوى على ١٠٪ مغنيسيوم وهو سريع التيسر، ومن الكبريت من المادة العضوية، وكذلك من كبريتات البوتاسيوم والمغنيسيوم التى تحتوى على ٢١٪ K_2O، و ١١٪ مغنيسيوم. هذا وتحتوى طبقة تحت التربة — على مستويات أعلى من الكبريت، وهى التى يمكن الاستفادة منها بزراعة المحاصيل عميقة الجذور. هذا مع العلم بأن مستوى الكبريت فى الأراضى الرملية يزداد — تدريجيًا — مع استمرار التسميد العضوى.

العناصر الدقيقة

تحتوى الأسمدة العضوية على مختلف العناصر الدقيقة. كذلك يمكن فى الزراعة العضوية استعمال الصور المخلبية لبعض العناصر، وأملاح الكبريتات والكربونات والأكاسيد والسيليكات لعناصر الزنك والنحاس والحديد والمنجنيز والموليبدنم والسيلينيم والكوبالت — وجميعها أملاح سريعة الذوبان — إذا ما قدمت أدلة على عدم توفر تلك العناصر بكميات كافية فى التربة (Treadwell ٢٠٠٦). كذلك يستعمل البوراكس للبورون، وموليبدات الصوديوم للموليبدنم.

كذلك تحتوى مستخلصات الطحالب البحرية على عديد من العناصر المغذية، وأحيانًا على بعض الهرمونات. وإلى جانب تلك المواد المغذية بطبيعتها، فإن بعض التحضيرات الخاصة بكائنات دقيقة معينة — تُعامل بها التربة — تؤدى إلى تيسر العناصر فيها.

الأسمدة الحيوية

من بين الأسمدة الحيوية المتوفرة محليًا، ما يلى:

السماد		محتواه البكتيرى	أهميته
بيوجين	Biogene	*Azotobacter* spp.	تثبيت آزوت الهواء الجوى
فوسفورين	Phosphorine	*Bacillus megaterium*	إذابة الفوسفات
نيتروبين	Nitrobene	*Azotobacter* spp. + *Azospirillum* spp	تثبيت آزوت الهواء الجوى
ميكروبين	Microbene	*Azotobacter* spp. + *Azospirillum* spp. + *Pseudomonas* spp. + *Rhizobium* spp.	تثبيت آزت الهواء الجوى وتنشيط النمو

وقد حُصل فى إحدى الدراسات على ٣٣ عزلة بكتيرية كانت قادرة على إذابة الفوسفور من مصادره العضوية وغير العضوية، وانتخب منها ١٦ سلالة كانت قادرة على استعمار جذور الطماطم. وتبين أن جميعها أحدثت — فى الزراعات المحمية — زيادة فى كل من: النموات الهوائية والجذرية، والوزنين الرطب والجاف، ومحتوى نباتات الطماطم — التى لُقحت بها — من عنصر الفوسفور، مقارنة بنباتات الكنترول. ولقد أظهر تحليل التربة فى محيط جذور النباتات التى لُقحت بذورها — قبل الزراعة — بالبكتيريا — زيادة فى محتواها من عنصر الفوسفور، وتساوت جميع العزلات المختبرة فى تلك التأثيرات (Hariprasad & Niranjana ٢٠٠٩).

الأسمدة المستخدمة فى الزراعات العضوية

تقوم إدارة خصوبة التربة فى الزراعات العضوية على فلسفة "غذِ التربة لتغذى النبات". ويتم تحقيق ذلك المبدأ من خلال سلسلة من الممارسات التى تُخطط لأجل زيادة كل من: محتوى التربة من المادة العضوية، ونشاطها البيولوجى، وتيسر العناصر منها.

ويعتمد تسميد الزراعات العضوية — كلية — على الأسمدة الطبيعية — العضوية منها وغير العضوية — شريطة ألاّ يكون قد اتبعت فى تجهيزها عمليات تتعارض مع مبادئ الزراعة العضوية.

ويعد التسميد العضوى هو الأساس فى الزراعات العضوية، ولذا .. فإننا نتناوله بشىء من التفصيل.

الأسمدة ومحسنات التربة المصرح باستخدامها

يمكن استخدام المواد التالية كأسمدة ومحسنات للتربة فى الزراعات العضوية (جميع المواد المعلمة بـ * يتعين موافقة جهة التصديق على الحاجة إليها):

• سبلة الماشية والدواجن*: يتعين الحصول على موافقة جهة التصديق إن لم يُحصل على السبلة من مزارع عضوية. ولا يُسمح بالحصول عليها من المزارع "الصناعية" التى تعتمد بشدة على مغذيات ومدخلات بيطرية لا يسمح بها فى الزراعة العضوية. ويلزم تحديد نوع الحيوان الذى تستخدم مخلفاته.

• المخلفات الحيوانية الممزوجة بالماء slurry والبول*: يتعين الحصول على موافقة جهة التصديق إن لم يُحصل عليها من مزارع عضوية. ويفضل أن يكون استعمالها بعد خضوعها لتخمر متحكم فيه، وتخفيف مناسب. كذلك لا يُسمح بالحصول عليها من المزارع "الصناعية" التى تعتمد بشدة على مغذيات ومدخلات بيطرية لا يُسمح بها فى الزراعة العضوية. ويلزم تحديد نوع الحيوان الذى تستخدم مخلفاته.

• مخلفات حيوانية ومخلفات دواجن على صورة كمبوست*: يلزم تحديد نوع الحيوان الذى تستخدم مخلفاته.

• سبلة حيوانات مزرعية جافة وسبلة دواجن مجففة*: لا يسمح بالحصول عليها من المزارع "الصناعية" التى تعتمد بشدة على مغذيات ومدخلات بيطرية لا يسمح بها فى الزراعة العضوية. ويلزم تحديد نوع الحيوان الذى تستخدم مخلفاته.

• مخلفات المنازل المكمورة، على ألا تحتوى سوى على المخلفات النباتية والحيوانية، وعلى ألاّ تزيد فيها نسبة العناصر الثقيلة عن حدود معينة بالجزء فى المليون، هى: ٠,٧ للكادميم، و٢٥ للنيكل، و٤٥ للرصاص، و٠,٤ للزئبق، وصفر للكروميوم، وعلى ألاّ تزيد نسبة النحاس عن ٧٠، والزنك عن ٢٠٠ جزء فى المليون.

• كمبوست المخلفات النباتية.

• مخلفات بيئات زراعة عيش الغراب، على ألاّ تحتوى تلك البيئات — ابتداءً — على أى مكونات تخرج عما فى هذه القائمة.

- زرق الطيور البحرية (الجوانو)° guano.
- القش.
- البرليت perlite، والبنتونيت bentonite، والزيوليت zeolite، وغيرهم من أنواع الطين.
- الفيرميكيوليت vermiculite.
- المنتجات ذات الأصل الحيواني°، مثل: الدم المجفف، ومسحوق الحوافر والقرون والعظم، والفحم الحيواني animal charcoal، ومسحوق السمك، ومسحوق اللحم، ومسحوق الريش والشعر، والصوف، والفراء، والشعر، ومنتجات الألبان.
- المنتجات الجانبية للصناعات القائمة على المنتجات العضوية°.
- المنتجات ذات الأصل النباتي، مثل مخلفات صناعة الزيوت (مثل نواتج عصير البذور والثمار)، وقشور الكاكاو، ومخلفات المولت malt، ومخلفات صناعة النسيج... إلخ، ويشترط عدم سبق المعاملة بمواد مخلقة.
- المنتجات الجانبية لصناعة السكر°، مثل الفيناز vinase.
- الأعشاب البحرية ومنتجاتها، على أن يكون قد حُصل عليها بأي من الوسائل التالية:

١- العمليات الفيزيائية، مثل التجفيف، والتجميد، والطحن.

٢- الاستخلاص بالماء أو بالسوائل الحامضية أو القلوية.

٣- التخمر.

- نشارة ورقائق الخشب، وقلف الأشجار°، على ألا يكون الخشب قد تمت معاملته كيميائيًا.

- كمبوست لحاء الأشجار، على ألا يكون الخشب قد تمت معاملته كيميائيًا.
- رماد الخشب*، على ألا يكون الخشب قد تمت معاملته كيميائيًا.
- صخر الفوسفات الطبيعي*: يجب ألا يزيد تركيز الكادميم فيه عن ٩٠ مجم/كجم من الـ P_2O_5.
- خَبَث المعادن basic slag*.
- صخر البوتاس — أملاح البوتاسيوم المستخرجة من مناجمها الطبيعية (مثل الـ kainite، والـ sylvinite: يجب أن يقل محتواها من الكلورين عن ٦٠٪.
- كبريتات البوتاسيوم* (مثلاً.. patenkali): يُحصل عليها بطرق فيزيائية على ألا تكون قد تعرضت لعمليات كيميائية بهدف زيادة قدرتها على الذوبان.
- كربونات الكالسيوم من مصادر طبيعية (مثل الطباشير chalk والمرَل marl — وهو الطين الغنى بكربونات الكالسيوم — والـ maerl والحجر الجيرى limestone والطباشير الفوسفاتى phosphate chalk).
- كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم ذات الأصل الطبيعى، مثل: الطباشير المغنيسيومى، ومسحوق الحجر الجيرى المغنيسيومى.
- كبريتات المغنيسيوم، مثل: الكزيريت keserite.
- محلول كلوريد الكالسيوم للرش الورقى.
- كلوريد الصوديوم (المستخرج من المحاجر فقط).
- فوسفات الكالسيوم والألومنيوم: يجب ألا تزيد فيه نسبة الكادميم عن ٩٠ مجم/كجم من الـ P_2O_5.

- العناصر الدقيقة*.
- الكبريت * (زهر الكبريت).
- مسحوق الأحجار.
- الكائنات التى تتواجد طبيعيًا مثل الديدان.
- الفيرميكمبوست vermicompost.
- البيت: يشترط خلو البيت من الإضافات المخلقة. ويسمح به كمهاد لزراعة البذور وفى مخاليط الزراعة، لكن لا يُسمح به فى الاستعمالات الأخرى إلا بعد موافقة جهة التصديق على ذلك.
- الدبال المتحصل عليه من الديدان الأرضية والحشرات.
- السيليكات المائية (الزيوليتات zeolites).
- فحم الخشب.
- كلوريد الجير*.
- مخلفات الإنسان*: يُفضل — إن أمكن — أن تكون مهواة أو متحللة. لا يجوز استعمالها مع المحاصيل التى تزرع لأجل الاستهلاك الآدمى (عن CAC ٢٠٠١، UKROFS ٢٠٠٣).

ويبين جدول (٢ —٢٠) محتوى النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم لبعض الأسمدة العضوية وغير العضوية المصرح باستخدامها فى الزراعات العضوية.

جدول (٢-٢٠): محتوى المواد المستخدمة فى الإنتاج العضوى من كل من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم (٪) (عن Boyhan وآخرين ١٩٩٩، وHarris وآخرين ٢٠٠٧).

المادة	N	P_2O_5	K_2O	التيسر
مسحوق العظام الخام	٢-٦	١٥-٢٧	صفر	بطئ
مسحوق العظام المعامل بالبخار	٠,٧-٤,٠	١٨-٣٤	صفر	بطئ إلى متوسط
كسب بذرة الخروع	٥	١,٨	١	بطئ
مسحوق قشرة الكاكاو	٢,٥	١,٠٠	٢,٥	بطئ
الكمبوست	١,٥-٣,٥	٠,٥-١,٠	١-٢	بطئ
كسب بذرة القطن	٦	٢,٥	١,٧	بطئ إلى متوسط
الدم المجفف	١٢	١,٥	٠,٦	متوسط إلى سريع
مستحلب السمك	٣-٥	١-٢	١-٢	سريع
مسحوق السمك المجفف	١٠-١١	٦	٢	سريع
النفايات الجافة للسمك	٣,٥-١٢	١-١٢	٠,٨-١,٦	بطئ
القمامة المجففة	٢,٧	٣	١	بطئ جدًا
زرق الطيور البحرية	٩-١٢	٣-٨	١-٢	متوسط
الكِلب kelp (رماد عشب البحر)	٠,٩	٠,٥	٤-١٣	بطئ
السبلة الطازجة				
الماشية	٠,٢٥	٠,١٥	٠,٢٥	متوسط
الخيل	٠,٣	٠,١٥	٠,٥	متوسط
الأغنام	٠,٦	٠,٣٣	٠,٧٥	متوسط
الخنازير	٠,٣	٠,٣	٠,٣	متوسط
الأرانب	٢,٤	١,٤	٠,٦	متوسط إلى سريع
الدجاج (٧٥٪ رطوبة)	١,٥	١	٠,٥	متوسط إلى سريع
الدجاج (٥٠٪ رطوبة)	٢	٢	١	متوسط إلى سريع
الدجاج (٣٠٪ رطوبة)	٣	٢,٥	١,٥	متوسط إلى سريع
الدجاج (١٥٪ رطوبة)	٦	٤	٣	متوسط إلى سريع
البط	٠,٦	١,٤	٠,٥	متوسط إلى سريع
المارل marl	صفر	٢	٤,٥	بطئ جدًا

يتبع

تابع جدول (٢-٢٠).

المادة	N	P_2O_5	K_2O	التيسر
الميلوجانيت miloganite الجاف	٥	٢-٥	٢	متوسط
كمبوست عيش الغراب	٠,٤- ٠,٧	٠,٦	٠,٥- ١,٥	بطئ
البيت والمك	١,٥-٣	٠,٧٥	٠,٥- ١,٠	بطئ جدًا
نشارة الخشب	٠,٢	٠,١	٠,٢	بطئ جدًا
المجارى المعاملة	١-٣	٠,٥-٤,٠	صفر- ٠,٥	بطئ
كسب فول الصويا	٦,٧	١,٦	٢,٣	بطئ إلى متوسط
رماد الخشب	صفر	١- ٢	٣- ٧	سريع
مسحوق الجرانيت (ترسبات معدنية طبيعية)	صفر	صفر	٣,٠- ٥,٠	بطئ جدًا
الرمل الأخضر (ترسبات معدنية طبيعية)	صفر	١,٣٥	٤- ٩,٥	بطئ جدًا
الكاينيت kainite (ترسبات طبيعية)	صفر	صفر	١٢	بطئ جدًا
صخر الفوسفات (ترسبات معدنية طبيعية)	صفر	٢٠- ٣٢	صفر	بطئ جدًا
ملح إبسوم	صفر	صفر	صفر (١٠ Mg)	سريع
سلفات البوتاسيوم والمغنيسيوم	صفر	صفر	٢١ (١١ Mg)	سريع

وتتباين تلك المنتجات فى سرعة معدنة ما تحتويه من نيتروجين عضوى، كما يتضح من جدول (٢-٢١).

جدول (٢-٢١): معدل تمعدن النيتروجين العضوى فى بعض الأسمدة العضوية حسب درجة الحرارة والفترة الزمنية (عن Gaskell وآخرين ٢٠٠٦).

السماد	الحرارة (م°)	معدل تمعدن النيتروجين العضوى (٪) بعد فترة		
		أسبوع واحد	أربعة أسابيع	ثمانية أسابيع
سبلة الدواجن المجهزة على صورة حبوب	١٥	٤	١٦	٢١
	٢٥	١٠	٢٣	٣٦
زرق الطيور البحرية	١٥	٤٩	٥٧	٦٠
	٢٥	٤٥	٤٨	٥٤
زرق الطيور البحرية على صورة حبوب	١٥	٤٢	٦١	٦٤
	٢٥	٤٦	٦٠	٦٧

يتبع

تابع جدول (٢-٢١).

السماد	الحرارة (م)	معدل تمعدن النيتروجين العضوى (٪) بعد فترة		
		أسبوع واحد	أربعة أسابيع	ثمانية أسابيع
مسحوق السمك	١٥	٥١	٥٥	٦١
	٢٥	٤٨	٦٠	٦٤
مسحوق الريش	١٥	٤٢	٥٦	٥٩
	٢٥	٥٠	٦٤	٦٣
مسحوق الدم	١٥	٤١	٦٠	٦٤
	٢٥	٥١	٦٧	٧٠

المركبات والمنتجات الطبيعية التى يُحظر أو يقّيد استعمالها فى تسميد الزراعات العضوية

لا يُسمح باستخدام بعض المركبات الطبيعية فى الإنتاج العضوى، وتُفرض قيود على استخدام بعضها الآخر كما يلى:

١- يمكن استخدام مادة كلوريد البوتاسيوم (أو ما يعرف باسم muriate of potassium) — فقط — ما لم يُؤد استخدامها إلى زيادة محتوى التربة من أيون الكلوريد.

٢- على الرغم من أن معظم الحجر الجيرى الزراعى يُسمح باستعماله فى الإنتاج العضوى، فإن الجير المطفى $Ca(OH)_2$ والجير المحروق (أكسيد الكالسيوم CaO لا يُسمح باستعمالهما بسبب طريقة تصنيعهما.

٣- لا يُسمح فى الاتحاد الأوروبى واليابان باستعمال نترات الصوديوم الطبيعية (نترات شيلى) فى الإنتاج العضوى بسبب مخاطر زيادة الصوديوم فى التربة، بينما يسمح باستعمالها فى الولايات المتحدة لتوفير ما لا يزيد عن ٢٠٪ من حاجة النباتات الكلية من النيتروجين. ويجب أن يؤخذ ذلك الأمر فى الاعتبار عن الرغبة فى تصدير مُنتج ما من بلد تسمح باستعمال نترات الصوديوم فى حدود ٢٠٪ من حاجة النباتات من النيتروجين إلى بلد لا يسمح باستعمالها على الإطلاق.

٤- يُسمح باستخدام السبلة الطازجة (التى لم تتحلل إلى كمبوست أو لم تترك جانبًا لتتحلل جزئيًا) ما دامت السبلة قد تم تداولها بطريقة تحد من مخاطر تلوث محاصيل الغذاء بمسببات أمراض الإنسان، ومن مخاطر تلوث البيئة بالنيتروجين. ويعنى ذلك تحديدًا أن السبلة الطازجة لا تُستخدم إلا فى إنتاج الأسمدة الخضراء، أو فى الحالات التى يجرى فيها الحصاد بعد ٤- ٦ شهور من إضافة الكمبوست للتربة فى جو دافئ بقدر كافٍ يسمح بالنشاط البيولوجى المؤدى إلى تحلل السبلة.

هذا.. وتختلف برامج تصديق الإنتاج العضوى فى قوائم المواد المصرح بها، والمواد المقيدة الاستعمال، والممنوعة من الاستخدام، بما يعنى ضرورة الرجوع إلى تلك القوائم قبل استخدام أى من المنتجات التى تسوق على أنه يصرح باستخدامها فى الإنتاج العضوى.

الفصل الثالث

التسميـد

طرق التعرف على حاجة محاصيل الخضر إلى التسميد

التعرف على الحاجة إلى التسميد من أعراض نقص العناصر

تظهـر أعـراض نقـص العناصـر بـصفة خاصـة وقـت التـزهير والإثمـار؛ إذ تـزداد احتياجات النبات إلى العناصر الغذائية خلال تلك الفترة. وبالمقارنة بفصل الصيف، فـإن أعراض نقص العناصر لا تظهر بوضوح خلال فصل الشتاء بسبب بطء النمو.

وحتى تسهل دراسة أعراض نقص العناصر، فإنه يلزم تقسيمها إلى مجاميع تـشترك فيها عناصر كل مجموعة فى أعراض خاصة فيما بينها، وهذا ما سـنتناوله بالـشرح فـى الجزء التالى؛ ثم تعقب ذلك دراسة للعوامل التى تُحدث أعراضًا شـبيهة بـأعراض نقـص العناصر.

تقسيم العناصر المغذية حسب أعراض نقصها

١- عناصر تـشترك فـى ظهـور أعـراض نقـصها علـى الأوراق المـسنة أولاً؛ وهـى: الفوسفور، والبوتاسيوم، والموليبدنم، والمغنيسيوم، والكبريت، والنحاس، والنيتروجين.

الفوسفور: يبقى لون الأوراق أخضر قائمًا، وقد يظهر لون أخضر محمـر أو قرمـزى على نصل الأوراق والعروق والسيقان، خاصة من الجانـب الـسفلى لـلأوراق. ويظهـر فـى أوراق البطاطس التفاف وبهتان فى اللون وبعض الاحتراق. وعمومًا .. فإن النباتات تكون ضعيفة النمو، وتكون السيقان متخشبة، ويقف نمو الجذور الليفية، ويتأخر عقد الأزهـار ونضج الثمار.

البوتاسيوم: تأخذ الأوراق المسنة لونًا أخضر رماديًا، ثم يـتغير إلى اللـون البرونـزى

أو البنى المصْفر، وتلتف حواف الأوراق، ويكون نمو النبات بطيئًا، ويضعف نمو الجذور، ويظهر عدم تجانس فى نضج الثمرة الواحدة.

أ- يظهر لون أصفر بين العروق فى أنسجة الورقة، بينما تظل العروق بلون أخضر داكن. ويشترك فى هذه الأعراض كل من: المولیبدنم، والمغنيسيوم.

المولیبدنم: يكون لون الأوراق الصغيرة أخضر عاديًا، ثم تتبرقش مع كبرها فى السن، وتظهر بقع بنية اللون على طول حافة الورقة. تكون الأوراق غير طبيعية المظهر، وفى القنبيط تكون ضيقة جدًا، ويكون النبات متقزمًا، كما تكون الأقراص مفككة وغير مندمجة.

المغنيسيوم: تلتف حواف الأوراق لأعلى، ويتغير لون البقع الصفراء إلى اللون البنى، ثم تموت هذه الأنسجة. وتظهر فى بعض النباتات صبغات أرجوانية محمرة، بدلاً من الاصفرار، وفى الصليبيات يظهر لون برّاق على الأوراق. وعمومًا.. تكون الساق سهلة التقصف.

ب- اصفرار الأوراق:

يشترك فى هذه الأعراض كل من: الكبريت، والنحاس، والنيتروجين.

الكبريت: تكون الأوراق السفلى سميكة، والسيقان صلبة ورقيقة، والجذور كبيرة.

النحاس: تكون الأوراق متدلية، وقد تكون مطاولة، خاصة فى الخس، ويكون نمو النبات بطيئًا. وفى البصل تكون الأبصال رخوة، وحراشيفها رفيعة، وذات لون أصفر باهت.

النيتروجين: قد يعم الاصفرار كل النبات، ويكون النبات ضعيفًا ومتقزمًا، كما تكون الثمار والجذور أصغر من حجمها الطبيعى.

٢- عناصر تشترك فى ظهور أعراض نقصها على الأوراق الحديثة أولاً، وهى الحديد، والمنجنيز، والزنك. ولا يحدث جفاف فى أى جزء من الورقة.

المنجنيز: تتلون الأنسجة بين العروق باللون الأصفر، ثم يتحول لون هذه الأنسجة إلى اللون البنى، أو تصبح شفافة. وفى البنجر تأخذ الأوراق لونًا أحمر داكنًا، وتظهر خطوط مصفرة فى أوراق البصل والذرة.

الزنك: تكون الأوراق الحديثة صغيرة جدًا ومبرقشة ومصفرة، وعادة ما تظهر بها بقع ذات أنسجة ميتة. وفى الفاصوليا تظهر بقع صفراء بنية محمرة على الأوراق الفلقية. وتظهر بقواعد أنصال أوراق الذرة خطوط خضراء وصفراء عريضة. وفى البنجر يظهر اصفرار بين العروق، وتحترق حواف الورقة. وهناك أعراض أخرى فى الذرة؛ هى: تأخر ظهور المياسم (الحريرة)، وعدم امتلاء الكيزان جيدًا لعدم تمام التلقيح.

٣- عناصر تشترك فى ظهور أعراض نقصها أساسًا على الأنسجة النامية للجذور والسيقان، وهى: البورون، والكالسيوم.

البورون: تتلون حواف الأوراق أحيانًا باللون الأصفر أو البنى، وتنحنى حواف الأوراق الصغيرة الحديثة، ويظهر تبرقش بأوراق الخضر الجذرية. وتظهر فى جذور البنجر بقع فلينية بنية أو سوداء متناثرة عادة قرب السطح، أو قرب حلقات النمو. وتظهر فى جذور اللفت والروتاباجا مناطق كثيرة مائية بنية اللون قرب مركز الجذور. وفى القنبيط تتلون الأقراص باللون البنى. وفى البروكولى تتلون البراعم الزهرية باللون البنى. وتظهر فى سيقان كل من: القنبيط، والبروكولى، والكرنب مناطق مائية تصبح شقوقًا بنية اللون فيما بعد. وتظهر على السطح الخارجى لأعناق الكرفس بقع طولية متحللة، كما تظهر على أعناق أوراق السلق خطوط داكنة وتشققات.

الكالسيوم: قد تتلون الأوراق باللون الأصفر. وتنحنى حواف الأوراق الصغيرة لأعلى، وأحيانًا تكون حوافها متموجة وغير منتظمة. وعمومًا.. تظهر بقع متحللة فى الجزء العلوى للنبات وتكون السيقان ضعيفة وبطيئة النمو. ويظهر مرض تعفن الطرف الزهرى فى الطماطم، ومرض القلب الأسود فى الكرفس، واحتراق حواف الأوراق فى الخس (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

ويمكن الاستعانة بالمفتاح التالى لتحديد حالات نقص العناصر (عن Chatterjee & Dube ٢٠٠٤):

أولاً: ظهور الأعراض على أنصال الأوراق المكتملة التكوين والمسنة.

١- الأعراض على صورة اخضرار مصفر chlorosis:

أ- الأعراض متجانسة:

تلك هى أعراض نقص النيتروجين والكبريت.

ب- الأعراض بين العروق أو على صورة مساحات غير منتظمة blotchy:

تلك هى أعراض نقص المغنيسيوم والمنجنيز.

٢- الأعراض على صورة أنسجة متحللة necrosis:

أ- الأعراض على صورة احتراق بقمة الأوراق وحوافها:

تلك هى أعراض نقص البوتاسيوم.

ب- الأعراض فى المساحات بين العروق:

تلك هى أعراض نقص المغنيسيوم والمنجنيز.

ثانيًا: ظهور الأعراض على الأوراق الحديثة والقمة النامية:

١- الأعراض على صورة اخضرار مصفر chlorosis:

أ- الأعراض متجانسة:

تلك هى أعراض نقص الحديد والكبريت.

ب- الأعراض بين العروق أو على صورة مساحات غير منتظمة:

تلك هى أعراض نقص الزنك والمنجنيز.

٢- الأعراض على صورة أنسجة متحللة:

تلك هى أعراض نقص الكالسيوم والبورون والنحاس.

٣- الأعراض على صورة تشوهات deformations:

تلك هى أعراض نقص الموليبدنم والزنك والبورون.

ثالثًا: ظهور الأعراض على أنصال الأوراق المكتملة التكوين والمسنة:

١- الأعراض على صورة أنسجة متحللة:

أ- الأعراض على صورة بقع spots:

تلك هى أعراض نقص المنجنيز والبورون.

ب- الأعراض على صورة احتراق بقمة الأوراق وحوافها:

نلك هى أعراض نقص البورون أو من أضرار الرش.

٢- الأعراض على صورة لون أصفر مخضر:

تلك هى أعراض تسمم بعوامل غير محددة.

ومن أكبر عيوب الاعتماد على أعراض نقص العناصر كدليل للحاجة إلى التسميد أن مجرد ظهور أعراض نقص عنصر ما يعد دليلاً قويًا على أن النبات يعانى بالفعل من جرَّاء نقص هذا العنصر؛ الأمر الذى ينعكس سلبيًا على المحصول المتوقع من هذا النبات، حتى بعد أن يتم تصحيح هذا النقص.

الحالات التى تتشابه أو تختلط بأعراض نقص العناصر

قد تتشابه أو تختلط أعراض نقص بعض العناصر بحالات أخرى، كما يلى:

١- قد تؤدى زيادة امتصاص النبات لبعض العناصر — بسبب توفرها فى التربة — إلى ظهور أعراض نقص بعض العناصر الأخرى، برغم توفرها فى التربة؛ فمثلاً:

أ- تؤدى زيادة عنصر الفوسفور إلى ظهور أعراض نقص عنصرى الزنك والحديد.

ب- تؤدى زيادة أى من عناصر البوتاسيوم، أو الصوديوم، أو المغنيسيوم إلى ظهور أعراض نقص الكالسيوم.

ج- تؤدى زيادة عنصر البوتاسيوم إلى ظهور أعراض نقص المغنيسيوم

د- تؤدى زيادة أى من عناصر النحاس، أو المنجنيز، أو الزنك إلى ظهور أعراض نقص عنصر الحديد.

٢- قد تؤدى زيادة امتصاص بعض العناصر إلى حدوث تسمم بالنبات، وظهور أعراض شبيهة بأعراض نقص بعض العناصر الأخرى؛ فمثلاً:

أ- تتشابه أعراض التسمم بأى من عنصرى الصوديوم، أو الكلور مع أعراض نقص البوتاسيوم، ويكون ذلك على صورة احتراق بحواف الأوراق.

ب- تتشابه أعراض التسمم بأى من عناصر الزنك، أو النحاس، أو المنجنيز مع أعراض نقص الحديد.

ج- تتشابه أعراض التسمم بالألومنيوم (فى الأراضى الحامضية) مع أعراض نقص الفوسفور.

د- تتشابه أعراض التسمم بالمنجنيز مع أعراض نقص نفس العنصر.

٣- قد تؤدى بعض الظروف البيئية إلى ظهور أعراض شبيهة بأعراض نقص بعض العناصر، فمثلاً:

أ- تُحدث الحرارة المنخفضة أعراضًا شبيهة بأعراض نقص عنصر الفوسفور؛ ويكون ذلك بظهور صبغات قرمزية محمرة.

ب- يؤدى التعرض للرياح أو للجفاف إلى ظهور احتراق بحواف الأوراق يكون شبيهًا بأعراض نقص البوتاسيوم.

ج- يؤدى سوء الصرف إلى ظهور أعراض تتشابه مع أعراض نقص عدد من العناصر؛ مثل: اللون القرمزى الذى يتشابه مع أعراض نقص الفوسفور؛ واللون الأصفر الذى يتشابه مع نقص النيتروجين، واحتراق حواف الأوراق الذى يتشابه مع نقص البوتاسيوم، والاصفرار الجزئى للأوراق الذى يتشابه مع أعراض نقص كل من عنصرى الحديد والمنجنيز.

٤- قد تؤدى بعض الأصابات المرضية والحشرية إلى ظهور أعراض شبيهة بأعراض نقص عنصر النيتروجين (اصفرار الأوراق السفلى)، والبوتاسيوم (احتراق حواف الأوراق).

ب- تؤدى عديد من الإصابات الحشرية — خاصة المن — إلى حدوث تشوهات بالأوراق تشبه أعراض نقص عنصر البورون.

ج- تؤدى الإصابة بالعنكبوت الأحمر إلى ظهور لون برونزى شاحب يُخفى معه أعراض نقص بعض العناصر.

د- تتشابه أعراض الإصابة بفيروسات الاصفرار — إلى حد كبير — مع أعراض نقص عنصر المغنسيوم (اصفرار بين العروق فى الأوراق السفلى).

هـ- تؤدى إصابة البطاطس بالرايزوكتونيا إلى التفاف حواف الأوراق العلوية فيما يشبه أعراض نقص عنصر الكالسيوم.

٥- تؤدى المعاملة بالمبيدات والأسمدة — أحيانًا — إلى ظهور أعراض شبيهة بأعراض نقص العناصر؛ مثال ذلك:

أ- قد يصاحب الرش ببعض المبيدات ظهور أعراض، كالتلون باللون الأصفر، أو تلون بين العروق باللون البنىّ، وكذلك تلون حواف الأوراق باللون البنى، وهى أعراض تتشابه مع أعراض نقص النيتروجين والكالسيوم، والبوتاسيوم، والمغنيسيوم.

ب- قد تحدث أضرار من الأسمدة، كتلون بين العروق باللون البنى، ويتشابه ذلك مع أعراض نقص البوتاسيوم (عن Douglas ١٩٨٥).

سمية العناصر

١- المنجنيز:

يعد المنجنيز مثالاً للعناصر التى ينخفض فيها المدى بين النقص والسمية. وهو عنصر يتراكم — عند كثرته — فى النموات الخضرية، ويتناسب مدى الضرر الذى يحدثه مع التركيز الذى يصل إليه. تتضمن أعراض التسمم اصفرار حواف الأوراق وظهور بقع متحللة بها، وقد لا يكون ذلك مصاحبًا بنقص فى النمو الخضرى. وقد يترتب على ذلك اكتساب الجذور لونًا بنيا.

يتراوح الحد الأقصى للمنجنيز فى الأنسجة النباتية — الذى يمكن للنباتات تحمله — بين ٣٨٠ و ١٦٠٠ جزء فى المليون.

وتؤدى زيادة عنصر المنجنيز إلى ظهور أعراض نقص الحديد. وتؤدى إضافة الحديد — فى صورة مخلبية، أو رشًا — إلى تقليل امتصاص المنجنيز.

٢- النحاس:

تظهر أعراض التسمم بالنحاس على صورة اصفرار وتقزم بالنباتات. ويرجع الاصفرار إلى نقص عنصر الحديد الذى يترتب على زيادة تركيز عنصر النحاس فى الأنسجة. تظهر أعراض التسمم — فى البداية — فى القمم النامية للجذور، ويلى ذلك عدم تكون تفرعات جذرية، وضعف المجموع الجذرى بصورة عامة.

٣- الألومنيوم:

تتشابه أعراض التسمم بالألومنيوم — كثيرًا — مع أعراض نقص الفوسفور؛ الأمر الذى يفيد احتمال وجود علاقة بين التسمم بالألومنيوم وامتصاص الفوسفور. إن أعراض التسمم بالألومنيوم تتضمن تقزم النمو، وتكوُّن أوراقًا صغيرة ذات لون أخضر قاتم، وتأخر النضج، مع ظهور لون قرمزى على أوراق وسيقان النباتات. وكثيرًا ما تصفر أطراف الأوراق وتموت.

كذلك يُحدث التسمم بالألومنيوم نقصًا في الكالسيوم يظهر في صورة تجعد والتفاف بالأوراق الحديثة، وانهيار بالقمم النامية أو أعناق الأوراق. كما تصبح القمم النامية للجذور سميكة وتكتسب لونًا بنيا، مع ظهور جذور جانبية قصيرة وسميكة، وغياب تكوين التفرعات الجذرية الدقيقة. وهذه الجذور تكون أكثر عرضة للإصابات المرضية، فضلاً على كونها أقل كفاءة في امتصاص احتياجات النبات من الماء والعناصر الغذائية (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

التعرف على الحاجة إلى التسميد بواسطة النباتات الحساسة لنقص العناصر المختلفة

يمكن التعرف على حاجة محاصيل الخضر إلى التسميد بعناصر معينة بزراعة النباتات الحساسة لهذه العناصر Indicator Plants، كما يلي (عن Wallace ١٩٦١):

ينصح بزراعة	لاكتشاف نقص عنصر
القنبيط — البروكولي — الكرنب	النيتروجين
الكيل	الفوسفور
القنبيط — البروكولي — الكرنب	الكالسيوم
القنبيط	المغنيسيوم
البطاطس — الفول الرومي — القنبيط	البوتاسيوم
بنجر السكر	الصوديوم
القنبيط — البروكولي — الكرنب — البطاطس	الحديد
بنجر السكر — البطاطس	المنجنيز
بنجر السكر	البورون
القمح	النحاس
النجيليات — الكتان	الزنك
القنبيط — الخس	الموليبدنم

كما يغْطى المرجع قائمة أخرى كبيرة بالنباتات الحساسة التى يمكن استخدامها فى الظروف المختلفة.

التعرف على الحاجة إلى التسميد من تحليل التربة

يستفاد من تحليل التربة فى تقدير محتواها من العناصر الغذائية؛ وبالتالى فى تحديد مدى الحاجة إلى التسميد، ويقتدى فى هذا الشأن بمستويات العناصر التى يجب أن تتوفر فى التربة للنمو الجيد.

طرق أخذ عينات التربة للتحليل

تؤخذ عينات التربة للتحليل فى المراحل المبكرة لتحضير الحقل للزراعة قبل إجراء أى تسميد عضوى أو كيميائى، وتكون العينة ممثلة لعمق صفر — ٣٠ سم بالنسبة لمعظم الخضر، يضاف إليها عينة أخرى من عمق ٣٠- ٦٠ سم بالنسبة لمحاصيل الخضر ذات الجذور المتعمقة.

يستعمل مثقات التربة (الأوجر Auger) لأخذ عينات التربة، والتى يجب أن تكون ممثلة لتربة الحقل. ويتحقق ذلك بتمثيل الحقل بخمسة مواقع لكل فدان، بحد أدنى ١٥ موقعًا بالنسبة للحقول التى تقل مساحتها عن ثلاثة أفدنة.

تُضَم العينات الممثلة لكل مساحة محددة معًا، وتخلط جيدًا، وتؤخذ منها عينة زنة نصف كيلوجرام فقط توضع فى كيس بلاستيكى يحكم إغلاقه، ويُرسل للتحليل.

ونظرًا لأن تحليل تربة الحقل يحتاج إلى نحو نصف كيلوجرام فقط من التربة، بينما يوجد فى كل فدان نحو بليون كيلوجرام من التربة السطحية.. ولما كانت العينة المستخدمة فى التحليل يجب أن تكون ممثلة تمامًا لتربة الحقل؛ لذا .. فإنه من الضرورى مراعاة بعض القواعد التى تقلل من فرصة حدوث الأخطاء عند تحضير تلك العينة. ونوجز هذه القواعد فيما يلى:

١- أخذ سلسلة من العينات (يطلق عليها اسم cores) من الحقل بطريقة منتظمة systematic تعتمد على تقسيم الحقل إلى مربعات ذات مساحات متماثلة، ثم أخذ عينة من مركز كل مربع أو كل عدد ثابت من المربعات. يراعى أن تكون جميع العينات متساوية فى قطرها وفى العمق الذى وصلت إليه؛ ومن ثم تكون متساوية فى الحجم.

٢- تُعدّ أنابيب التربة soil tubes أفضل وسيلة لأخذ العينات؛ وهى عبارة عن أسطوانات معدنية ذات يد، ومفتوحة من أسفل، ولها فتحة جانبية تبدأ من قرب طرفها السفلى بنحو ٢,٥ سم، وتمتد لمعظم طول الأسطوانة، لرؤية بروفيل التربة، ولأخذ العينات من الأعماق المرغوب فيها. ويتراوح العمق الذى تؤخذ منه العينات — عادة — بين ١٥ سم و ٣٠ سم. وتكون العينات التى تؤخذ بهذه الطريقة صغيرة جدًّا لدرجة أن كل ١٥ — ٢٠ عينة منها يبلغ وزنها نحو نصف كيلوجرام.

٣- يجب الإبقاء على بعض العينات مستقلة، أو على عينات مركبة مختلفة — تمثل مكررات مختلفة من الحقل — لتحليلها مستقلة؛ بهدف التعرف على جوهرية الاختلافات بين أجزاء الحقل.

٤- يجب أخذ عينات منفصلة من الأماكن التى تظهر بها اختلافات كبيرة فى نوع التربة، وحالة الصرف، والمظهر، والمعاملات السابقة التى أجريت للحقل، كأن يكون قد سبق قلب السماد العضوى أو الجبس الزراعى فيها. وإذا كانت المساحات التى تمثلها تلك العينات الشاذة صغيرة إلى درجة يصعب معها إعطاؤها معاملات خاصة بها لتصحيح الأوضاع فيها، فإنه يفضل استبعاد العينات المأخوذة منها كلية؛ حتى لا تؤثر على دقة تمثيل العينة المستخدمة فى تحليل تربة الحقل.

٥- يتوقف عدد العينات التى يتعين أخذها من الحقل على مدى تباين التربة، والدقة المطلوبة، وأنواع التحاليل المطلوبة. وعادة .. يؤخذ ما لا يقل عن ١٥- ٢٠ عينة

من الحقل الواحد، يتم خلطها معًا بصورة جيدة؛ لتكوِّن ما يُعرف بـ "العينة المركبة Composite Sample". وإذا زاد وزن هذه العينة عن نصف كيلوجرام، فإنها تُجزأ لأخذ عينات مناسبة منها للتحليل.

هذا .. وتكون الأراضى المزروعة — عادة — أقل تجانسًا من الأراضى البكر، كما تكون الأراضى الملحية والقلوية شديدة التباين (عن Chapman & Pratt ١٩٦١، و Tisdale & Nelson ١٩٧٥).

تقييم نتائج التحاليل الكيميائية للتربة

إن قيمة وأهمية نتائج التحاليل الكيميائية للتربة لا تتضح إلا إذا عُرفت مدلولاتها وقُيِّمت تقييمًا سليمًا، وهو ما نهدف إليه من تقديم هذا الجزء.

كبداية .. يوضح جدولاً (٣-١)، و (٣-٢) — بصورة عامة — المستويات التى تُعد منخفضة، أو معتدلة، أو مرتفعة من مختلف العناصر الضرورية للنبات فى الأراضى الزراعية.

جدول (٣-١): المستويات المنخفضة والمعتدلة والمرتفعة من العناصر الغذائية الأولية فى التربة (عن Minges وآخرين ١٩٧١).

العنصر	مستويات العنصر بالكجم / فدان		
	منخفض	معتدل	مرتفع
النترات (NO_3)	صفر — ١٢	١٢- ٣٦	٣٦- ٤٨
الفوسفور الذائب (P)	صفر — ١٥	١٥- ٤٥	> ٤٥
البوتاسيوم المتبادل (K)	صفر — ٩٠	٩٠-١٨٠	> ١٨٠

جدول (٣–٢): مستويات التربة من العناصر الدقيقة التى يجب أن تتوفر للنمو الجيد (عن Buckman & Brady ١٩٦٠، وChatterjee & Dube ٢٠٠٤).

العنصر	المدى الطبيعى (%)	المدى الطبيعى (جزء فى المليون)	المستوى المعتدل (جزء فى المليون)
النيتروجين	٠,٠٢—٠,٥٠	٢٠٠—٥٠٠٠	
الفوسفور	٠,٠١—٠,٢٠	١٠٠—٢٠٠٠	
البوتاسيوم	٠,١٧—٣,٣٠	١٧٠٠—٣٣٠٠٠	
الكالسيوم	٠,٠٧—٣,٦٠	٧٠٠—٣٦٠٠٠	
المغنيسيوم	٠,١٢—١,٥٠	١٢٠٠—١٥٠٠٠	
الكبريت	٠,٠١—٠,٢٠	١٠٠—٢٠٠٠	
الحديد	٠,٥—٥,٠	٥٠٠٠—٥٠٠٠٠	٢٥٠٠٠
المنجنيز	٠,٠٢—١,٠	٢٠٠—١٠٠٠٠	٢٥٠٠
الزنك	٠,٠٠١—٠,٠٢٥	١٠—٢٥٠	١٠٠
البورون	٠,٠٠٠٥—٠,٠١٥	٥—١٥٠	٥٠
النحاس	٠,٠٠٠٥—٠,٠١٥	٥—١٥٠	٥٠
الموليبدنم	٠,٠٠٠٠٢—٠,٠٠٠٥	٠,٢—٥	٢
الكلورين	٠,٠٠١—٠,١	١٠—١٠٠٠	٥٠

هـذا .. وتتبـاين نتـائج تحليـل العناصـر الغذائيـة فـى التربـة تبعًـا لطريقـة استخلاص العناصر منها كما يلى:

١- طريقة الاستخلاص باستعمال حامض الخليك

لا يعطى حامض الخليك — كمستخلص للعناصر من التربة — نتائج جيدة فى الأراضى ذات رقم الحموضة المرتفع نسبيًا، وتكون الحدود الحرجة للعناصر فى التربة — عند اتباع هذه الطريقة — كما يلى:

العنصر	مجم / كجم تربة
النيتروجين	١٢–٤٠
الفوسفور	٤٠–١٥٠
البوتاسيوم	١٥٠–٥٢٥
الكالسيوم	< ٤٠
المغنيسيوم	< ١٥٠

٢- طريقة الاستخلاص باستعمال خلات الأمونيوم

تكون الحدود الحرجة للعناصر فى التربة كما يلى:

العنصر	مجم / كجم تربة
البوتاسيوم	٢٠٠–٦٠٠
الكالسيوم	< ٧٤٥
المغنيسيوم	< ١٠٠

٣- طريقة الاستخلاص باستعمال الماء المقطر

يتم التقدير – فى هذه الطريقة – للعناصر التى توجد فى مستخلص التربة المشبع، وتكون الحدود الحرجة للعناصر كما يلى:

العنصر	مجم / كجم تربة
النيتروجين	٥٠–٩٠
الفوسفور	١٢–٤٠
البوتاسيوم	٤٠–١٥٠
الكالسيوم	٢٠٠–٦٠٠
المغنيسيوم	< ٦٠٠
	< ١٠٠

٤- طريقة مستخلص الماء (١ : ٥)

تعتمد هذه الطريقة على رج عينة التربة مع خمسة أمثال وزنها من الماء المقطر رجًّا جيدا لمدة ١٥ دقيقة على جهاز رج، ثم ترشيح المخلوط وإجراء التحليل على الراشح. وتُقيّم نتائج التحاليل فى المستخلص المُتحصل عليه بهذه الطريقة كما يلى:

العنصر	مستوى التحليل (مجم / كجم تربة)				
	منخفض جدا	منخفض	عادى	مرتفع	مرتفع جدا
النيتروجين الكلى	٠,٢ >	١,٠-٠,٢	٥-١	١٢-٥	١٢ <
خامس أوكسيد الفوسفور	٠,٢ >	١,٠-٠,٢	٢,٥-١	٦,٠-٢,٥	٦ <
أكسيد البوتاسيوم	٠,٥ >	٢,٠-٠,٥	٩-٢	١٥-٩	١٥ <
أكسيد الكالسيوم	٥ >	١٠-٥	٤٠-١٠	٨٠-٤٠	٨٠ <
أكسيد المغنيسيوم	٠,٥ >	١,٥-٠,٥	٥,٠-١,٥	١٠-٥	١٠ <
الأملاح الكلية	٢٠ >	٣٠-٢٠	٧٠-٣٠	١٥٠-٧٠	١٥٠ <

٥- طريقة استخلاص الفوسفور باستعمال بيكربونات الصوديوم (طريقة أولسون)

تقيم نتائج التحليل للفوسفور الميسر فى التربة — عند اتباع هذه الطريقة — كما يلى:

مستوى العنصر	التركيز (جزء فى المليون)
منخفض	٥,٠ >
متوسط	١٠-٥
معتدل	١٠ <

٦- طريقة استخلاص العناصر الصغرى باستعمال محلول الـ DTPA

تكون الحدود الحرجة لتركيز العناصر الصغرى عند اتباع هذه الطريقة كما يلى:

العنصر	مستوى التحليل (مجم / كجم تربة)				
	منخفض جدا	منخفض	عادى	مرتفع	مرتفع جدا
الحديد	٥,٠ >	١٠-٥	١٦-١١	٢٥-١٧	٢٥ <
المنجنيز	٤,٠ >	٨-٤	١٢-٩	٣٠-١٣	٣٠ <
الزنك	٠,٥ >	١,٠-٠,٥	٢-١	٦-٢	٦ <
النحاس	٠,٢	٠,٨-٠,٣	١,٢-٠,٩	٢,٥-١,٢	٢,٥ <

٧- طريقة استخلاص البورون باستعمال الماء الساخن

تقيم نتائج تحليل البورون — عند اتباع هذه الطريقة — كما يلى:

مستوى العنصر	التركيز (جزء فى المليون)
منخفض جدا	< ٠,٣
منخفض	٠,٤ – ٠,٧
متوسط	٠,٨ – ١,٢
مرتفع	١,٣ – ٢,٠
مرتفع جدا	> ٢,٠

وتعطى جداول (٣–٣) إلى (٣–٧) مزيدًا من التفاصل عن مستويات النقص والكفاية والسمية لمختلف المكونات والعناصر الضرورية للنبات — فى التربة — عند إجراء التحليلات بطرق مختلفة.

جدول (٣–٣): مستويات النقص والكفاية والسمية من عناصر الفوسفور، والبوتاسيوم، والمغنيسيوم، والزنك فى التربة(أ) (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

مستوى العنصر فى التربة	التركيز فى التربة بالجزء فى المليون			
	الفوسفور (P)	البوتاسيوم (K)	المغنيسيوم (Mg)	الزنك (Zn)
منخفض إلى درجة النقص بالنسبة لمعظم الخضراوات	صفر – ١٠	صفر – ٦٠	صفر – ٢٥	صفر – ٠,٣
منخفض إلى درجة النقص بالنسبة للخضراوات الحساسة	١٠ – ١٢	٦٠ – ١٢٠	٢٥ – ٥٠	٠,٣ – ٠,٦
يمكن أن تستجيب قليل من الخضر الحساسة للتسميد	٢٠ – ٤٠	١٢٠ – ٢٠٠	٥٠ – ١٠٠	٠,٦ – ١,٠
لا تستجيب الخضر للتسميد بالعنصر	> ٤٠	> ٢٠٠	> ١٠٠	> ١,٠
مرتفع إلى درجة أنه قد يحدث مشاكل للخضر المزروعة	> ١٥٠	> ٢٠٠٠	> ١٠٠٠	> ٣,٠

(أ) القيم الموضحة لمستويات العناصر هى تلك التى يُحصل عليها من طرق التحاليل التالية:

الفوسفور: طريقة Olson Bicarbonate Extraction.

البوتاسيوم والمغنيسيوم: طريقة Ammonium Acetate Extraction.

الزنك: طريقة DPTA Extraction.

جدول (٣–٤): تقييم نتائج تحليل التربة بطريقة Double-Acid (٠,٠٥ عيارى حامض أيدروكلوريك، و٠,٠٢٥ عيارى حامض كبريتيك) بالنسبة لعناصر الفوسفور، والبوتاسيوم، والمغنيسيوم.

المستوى النسبى للعنصر فى التربة	الكمية (كجم / فدان)		
	الفوسفور (P)	البوتاسيوم (K)	المغنيسيوم (Mg)
شديد الانخفاض	صفر– ٦,٥	صفر — ١٤,٥	صفر — ٢٧
منخفض	٧– ١٣,٥	١٥– ٣٥	١٧,٥– ٢٥
متوسط	١٤–٢٢,٥	٣٥,٥– ٦٧	٢٥,٥–٥٩
مرتفع	٢٣–٤٤,٥	٦٧,٥–١٣٣,٥	٥٩,٥ ١٢٦
شديد الارتفاع	٤٥ فأكثر	١٣٤ فأكثر	١٢٦,٥ فأكثر

جدول (٣–٥): تقييم نتائج تحليل التربة بطريقة Bray P_1 (٠,٠٢٥ عيارى حامض الأيدروكلوريك و٠,٠٣ عيارى فلوريد الأمونيوم) بالنسبة لعنصرى الفوسفور، والبوتاسيوم.

المستوى النسبى للعنصر فى التربة	الكمية (كجم / فدان)	
	الفوسفور (P)	البوتاسيوم (K)
شديد الانخفاض	صفر– ١٢,٥	صفر– ٦٠
منخفض	١٣–٢٥	٦٠,٥– ٩٠
متوسط	٢٥,٥– ٣٧,٥	٩٠,٥– ١٥٠
مرتفع	٣٨– ٧٥	١٥٠,٥–٢٥٠
زائد الارتفاع	< ٧٥	< ٢٥٠

جدول (٣-٦): المستوى الحرج للعناصر الدقيقة فى التربة عند إجراء التحليل بمختلف الطرق (عن **Lorenz & Maynard** ١٩٨٠).

العنصر	الطريقة	مدى المستوى الحرج بالجزء فى المليون[أ]
البورون (B)	Hot H_2O	٠,١ – ٠,٧
النحاس (Cu)	$NH_4C_2H_3O_2$ (pH4.8)	٠,٢
	0.5M EDTA	٠,٧٥
	0.43N HNO_3	٣ – ٤
	Biological assay	٢ – ٣
الحديد (Fe)	$NH_4C_2H_3O_2$ (pH 4.8)	٢
	DTPA + $CaCl_2$ (pH 7.8)	٢,٥ – ٤,٥
المنجنيز (Mn)	0.05 N HCl + 0.025*N* H_2SO_4	٥ – ٩
	0.1N H_3PO_4 and 3N $NH_4H_2PO_4$	١٥ – ٢٠
	Hydroquinone +$NH_4C_2H_3O_2$	٢٥ – ٦٥
	H_2O	٢
الموليبدنم (Mo)	$(NH_4)_2C_2O_4$ (pH 3.3)	٠,٠٤ – ٠,٢
الزنك (Zn)	0.1N HCl	١,٠ – ٧,٥
	Dithizone + $NH_4C_2H_3O_2$	٠,٣ – ٢,٣
	EDTA + $(NH_4)_2$ CO_3	١,٤ – ٣,٠
	DTPA + $CaCl_2$ (pH 7.3)	٠,٥ – ١,٠

(أ) تظهر أعراض نقص العنصر – غالبًا – عند انخفاض مستواه عن المستوى الحرج.

جدول (٣-٧): تقييم نتائج تحليل مختلف مكونات التربة عند تقديرها بطرق مختلفة (عن **Chapman & Pratt** ١٩٦١).

الصفة المقدّرة	طريقة التقدير وأساس التعبير عن التركيز	المدى الطبيعى فى التربة	المدى المناسب لمعظم النباتات	المدى العالى إلى المفرط فى الزيادة
الكربونات	فى المستخلص المشبع (مللى مكافئ / لتر)	آثار إلى أكثر من ١,٠	صفر	آثار إلى ١,٠
البيكربونات	فى المستخلص المشبع (مللى مكافئ / لتر)	< ١,٠ – ٥,٠	٠,١ – ٢,٥	٥,٠ – ١٩,٩

يتبع

تابع جدول (٣–٧).

الصفة المقدّرة	طريقة التقدير وأساس التعبير عن التركيز	المدى الطبيعى فى التربة	المدى المناسب لمعظم النباتات	المدى العالى إلى المفرط فى الزيادة
	فى مستخلص ١ :٥ (جزء فى المليون من التربة الجافة)	٥٠ — ٢٥٠	< ٦,٠– ١٠٠,٠	< ١٥٠– > ٢٥٠
الكلوريد	فى المستخلص المشبع (مللى مكافئ / لتر)	< ٠,١– ٥,٠	< ٠,٢– ٥,٠	١٠– > ١٠٠
	فى مستخلص ١ :٥ (جزء فى المليون من التربة الجافة)	< ١٠,٠– ٣٥٠	< ١٠– ٧٥,٠	١٠٠– > ٢٠٠
الكالسيوم	فى المستخلص المشبع (مللى مكافئ / لتر)	< ٠,١– ١٠,٠	١– ١٠	؟
المغنيسيوم	فى المستخلص المشبع (مللى مكافئ / لتر)	< ٠,٢– ٥,٠	< ٠,٢– ٥,٠	> ٣٠,٠– ؟
الصوديوم	فى المستخلص المشبع (مللى مكافئ / لتر)	< ٠,١– ٥,٠	< ٠,١– ٣,٥	> ١٥,٠
	فى مستخلص ١ :٥ (جزء فى المليون من التربة الجافة)	٢٠– ٢٥٠	< ٥,٠ — ٥٠	> ١٥٠
	متبادل كنسبة مئوية من السعة التبادلية الكاتيونية	< ١,٠– > ٥,٠	١,٠ — ١٠,٠	> ١٥,٠
الكبريتات	فى المستخلص المشبع (مللى مكافئ / لتر)	< ١,٠– ٢٠,٠	< ١,٠– ٢٠,٠	< ٣٠ – > ١٠٠
	فى مستخلص ١ :٥ (جزء فى المليون من التربة الجافة)	< ٢٥– ٥٠٠	< ٢٥– ٣٥٠	< ٣٥٠
البوتاسيوم	فى المستخلص المشبع (مللى مكافئ / لتر)	؟	١,٠– ٥,٠	< ٥,٠

ويبين جدول (٣–٨) المحصول النسبى لعدد من محاصيل الخضر عند تباين تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى (Tsadilas & Barbyiannis ٢٠٠١).

جدول (٣-٨): المحصول – كنسبة مئوية من أعلى محصول– لعدد من محاصيل الخضر عند تباين تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى بالجزء فى المليون.

المحصول	تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى بالجزء فى المليون							
	٠,٠٠٣	٠,٠٠٦	٠,٠١٢	٠,٠٢٥	٠,٠٥	٠,١	٠,٢	٠,٤
	المحصول كنسبة مئوية من أعلى محصول							
خس الرؤوس	١	٢	٦	١٤	٢٦	٥٢	٨١	١٠٠
الخيار	٢٠	٣٢	٤٥	٥٨	٧٢	٨٣	٩٧	–
الطماطم			٤٣	٧٠	٨٠	٨٩	٩٤	٩٩
الكرنب الصينى	٢٧	٤٤	٥٨	٧٠	٨١	٩٠	٩٦	١٠٠
البطاطا	٧٢	٧٤	٧٧	٨٢	٨٧	٩٤	٩٩	١٠٠
الكرنب			٨٧	٩١	٩٦	٩٩	١٠٠	١٠٠

وتقسم الخضراوات حسب احتياجاتها من البورون إلى ثلاث مجاميع كالتالى:

١- خضراوات ذات احتياجات عالية من البورون، وهى التى تتحمل تركيزات عالية منه فى التربة وماء الرى، وتستفيد بالبورون، ويلزم معها أن يتوفر العنصر فى التربة بتركيز يزيد على ٠,٥ جزءًا فى المليون، وهى مرتبة – تنازليًّا– حسب احتياجاتها من العنصر كالتالى: البنجر – اللفت – الكرنب – البروكولى – القنبيط – الأسبرجس – الفجل – كرنب بروكسل – الكرفس – الروتاباجا.

٢- خضراوات ذات احتياجات متوسطة من البورون، وهى التى تتحمل تركيزات متوسطة منه فى التربة وماء الرى، ويجب معها أن يكون تركيز العنصر بين ٠,١– ٠,٥ جزءًا فى المليون فى المحلول الأرضى، وهى مرتبة تنازليًّا حسب احتياجاتها للبورون كالتالى: الطماطم – الخس – البطاطا – الجزر – البصل.

٣- خضراوات ذات احتياجات منخفضة من البورون، وهى الحساسة لزيادة البورون فى التربة وماء الرى، ويجب معها ألا يزيد تركيز البورون فى المحلول الأرضى على ٠,١ جزءًا فى المليون، وهى مرتبة تصاعديًّا حسب حساسيتها للبورون كالتالى:

الذرة السكرية — البسلة — الفاصوليا — فاصوليا الليما — البطاطس.

ويوضح جدول (٣-٩) احتمالات استجابة بعض محاصيل الخضر للتسميد بعناصر: الفوسفور، والبوتاسيوم، والزنك، عند تباين نتائج تحليل التربة.

كما يبين جدولا (٣-١٠)، و(٣-١١) الاحتياجات السمادية من عنصرى الزنك والمنجنيز — على التوالى — تبعًا لنتيجة تحليل التربة ورقم حموضتها (الـ pH).

جدول (٣-٩): احتمالات استجابة محاصيل الخضر للتسميد بعناصر: الفوسفور، والبوتاسيوم، والزنك، عند تباين نتائج تحليل التربة (عن Reisenauer وآخرين ١٩٨٣) .

المحصول	العنصر	مستوى العنصر (جزء فى المليون) والاستجابة للتسميد	
		الاستجابة محتملة (المستوى أقل من)	الاستجابة غير محتملة (المستوى أعلى من)
القاوون	الفوسفور	٨	١٢
	البوتاسيوم	٨٠	١٠٠
	الزنك	٠,٤	٠,٦
الذرة	الفوسفور	٦	١٢
	البوتاسيوم	٥٠	٨٠
	الزنك	٠,٣	٠,٦
الخس	الفوسفور	١٥	٢٥
	البوتاسيوم	٥٠	٨٠
	الزنك	٠,٥	١,٠
البصل	الفوسفور	٨	١٢
	البوتاسيوم	٨٠	١٠٠
	الزنك	٠,٥	١,٠
البطاطس	الفوسفور	١٢	٢٥
	البوتاسيوم	١٠٠	١٥٠
	الزنك	٠,٣	٠,٧

يتبع

تابع جدول (٣-٩).

المحصول	العنصر	مستوى العنصر (جزء فى المليون) والاستجابة للتسميد: الاستجابة محتملة (المستوى أقل من)	الاستجابة غير محتملة (المستوى أعلى من)
الطماطم	الفوسفور	٦	١٢
	البوتاسيوم	٥٠	٨٠
	الزنك	٠,٣	٠,٧
محاصيل خضر أخرى	الفوسفور	٥	٩
(المواسم الدافئة)	البوتاسيوم	٥٠	٧٠
	الزنك	٠,٢	٠,٥
محاصيل خضر أخرى	الفوسفور	١٠	٢٠
(المواسم الباردة)	البوتاسيوم	٥٠	٨٠
	الزنك	٠,٥	١,٠

جدول (٣-١٠): الاحتياجات السمادية من عنصر الزنك – تبعًا لنتيجة تحليل التربة – عند إجراء الاستخلاص بحامض أيدروكلوريك ٠,١ عيارى.

نتيجة التحليل (جزء فى المليون من الزنك)	الاحتياجات السمادية (كجم زنك / فدان) عندما يكون pH التربة: أقل من ٦,٧	٦,٧ – ٧,٤
أقل من ٢	١,٠	١,٥
٣– ٥	صفر	١,٥
٥– ١٠	صفر	١,٠
١١– ١٥	صفر	صفر
أكثر من ١٥	صفر	صفر

جدول (٣-١١): الاحتياجات السمادية من عنصر المنجنيز – تبعًا لنتيجة تحليل التربة – عند إجراء الاستخلاص بحامض أيدروكلوريك ٠,١ عيارى (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

نتيجة التحليل	الاحتياجات السمادية (كجم منجنيز / فدان) عندما يكون pH التربة	
(جزء فى المليون من الزنك)	٦– ٦,٥	أعلى من ٦,٥
أقل من ٥	٣	٤
٥– ١٠	٢	٣
١١– ٢٠	صفر	٢
٢١ – ٤٠	صفر	صفر
أكثر من ٤٠	صفر	صفر

هذا .. وللتحويل من مللى مكافئ (أو مللى مكافئ / لتر) إلى ملليجرام (أو جزء فى المليون) يضرب فى الوزن المكافئ هكذا:

المللى مكافئ من	يضرب فى وزنه المكافئ
Ca	٢٠,٠٤
Mg	١٢,١٦
Na	٢٣,٠٠
K	٣٩,١٠
Cl	٣٥,٤٦
SO_4	٤٨,٠٣
CO_3	٣٠,٠٠
HCO_3	٦١,٠١
PO_4	٣١,٦٥
$CaSO_4\ 2H_2O$	٨٦,٠٩
$Ca\ CO_3$	٥٠,٠٤
S	١٦,٠٣
H_2SO_4	٤٩,٠٤
$Al_2\ (SO_4)_3\ 18H_2O$	١١١,٠٧
$Fe\ SO_4.\ 7H_2O$	١٣٩,٠١
NO_3	٦٢,٠٠

وللتحويل من مللى مكافئ / لتر من مستخلص التربة المشبع إلى جزء فى المليون فى التربة الجافة يضرب الناتج من التحويل السابق فى (النسبة المئوية للماء فى التربة عند نقطة التشبع مقسومًا على ١٠٠).

التعرف على الحاجة إلى التسميد من تحليل النبات

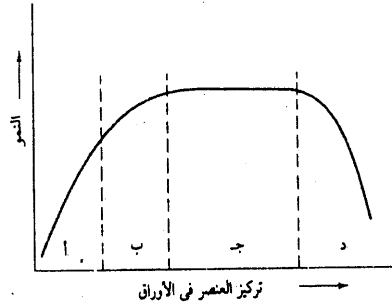
العلاقة بين النمو النباتى ومحتوى النبات من العناصر الغذائية

يتناسب النمو النباتى مع محتوى النبات من العناصر الغذائية الضرورية للنمو. فعندما تكون كافة العوامل الأخرى المؤثرة فى النمو مناسبة.. تظهر علاقة قوية بين نمو النباتات ومحتوى أوراقها من العنصر الغذائى الضرورى المعنىّ (شكل ٣-١). ففى التركيزات المنخفضة من العنصر يكون النمو النباتى قليلاً، ولكن مع أية زيادة بسيطة فى تركيز العنصر تحدث زيادة كبيرة فى النمو النباتى (منطقة أ).

ومع اقتراب معدل النمو من المستوى الطبيعى تتناقص — تدريجيًا — الزيادة فى معدل النمو بزيادة تركيز العنصر (منطقة ب)، إلى أن نصل إلى نقطة لا تحدث بعدها أية زيادة فى معدل النمو مع زيادة تركيز العنصر (منطقة ج).

وتجدر الإشارة أن التركيز الحرج للعنصر Critical Conentration — وهو التركيز الذى يصاحبه نقص قدره ١٠٪ عن النمو الطبيعى (Ulrich ١٩٨٣) — يقع فى المنطقة (ب). وتبدأ أعراض نقص العنصر فى الظهور مع نقص تركيزه فى النبات عن هذا الحد الحرج. كما أن الاستهلاك الترفى للعنصر Luxury consumption — وهو الاستهلاك الزائد على حاجة النبات الفعلية — يقع فى المنطقة (ج).

ومع استمرار زيادة تركيز العنصر فى النبات، فإنه يصبح سامًا، ويقل النمو النباتى تبعًا لذلك إلى أن يموت النبات (منطقة د).



شكل (٣-١): العلاقة بين النمو النباتي وتركيز العنصر السمادى بالأنسجة النباتية. يراجع المتن للتفاصيل (عن Nelson ١٩٨٥).

الأمور التى تجب مراعاتها عند أخذ العينات النباتية للتحليل

يراعى عند أخذ العينات النباتية للتحليل أن تكون فى العمر الفسيولوجى المناسب للمحصول، مع تجنب أخذ عينات مصابة بالأمراض أو الحشرات، أو من حقول سبق أن تعرضت لظروف بيئية قاسية؛ مثل الجفاف، أو الغدق، أو الملوحة العالية. وإذا وجدت آثار مبيدات على الأوراق فإنها يجب أن تغسل جيدًا وتجفف قبل تحليلها. وبعد جمع العينات فإنها توضع فى أكياس ورقية للتحليل، ثم تجفف فى حرارة ٦٠° — ٧٠°م، ثم تطحن وتخزن فى أوعية محكمة الإغلاق لحين تحليلها.

إن أفضل العينات للتحليل هى تلك التى تؤخذ من أحدث الأوراق الكاملة النمو، وهى تكون فى البطاطس — مثلاً — الورقة الثالثة إلى الخامسة من القمة النامية، وفى الطماطم الورقتين الثالثة والرابعة من القمة النامية، وفى البصل الأوراق المركزية الكاملة النمو حديثًا، وفى الفاصوليا الورقتين الثانية والثالثة من قمة النبات، وفى البسلة الأوراق المركبة الكاملة النمو من العقدة الثالثة تحت القمة النامية، وفى القرعيات أحدث الأوراق التى اكتمل نموها بالقرب من القمة النامية، وفى الكرنب والقنبيط

أحدث الأوراق التى أكملت نموها بالقرب من مركز النبات، أو الأوراق المغلفة للرأس ... وهكذا (عن مشروع العناصر المغذية الصغرى ومشاكل تغذية النبات فى مصر ١٩٩١).

يراعى أخذ ٢٥ عينة نباتية — على الأقل — لتمثل الحقل الواحد، أو الأجزاء المتباينة مظهريًّا من الحقول الكبيرة. كما يراعى عدم التحيز عند أخذ العينات؛ حيث تؤخذ عينة كل عدد ثابت من الأمتار، مع رسم حرف W متكرر عند السير فى الحقل لجمع العينات.

يتم استبعاد أعناق الأوراق، ولكن تؤخذ أعناق الوريقات المركبة، كما فى الجزر والفاصوليا (عن Scaife & Turner ١٩٨٣).

ويكون توزيع العينات النباتية — للتحليل على عدة مراحل من النمو — أفضل كثيرًا من أخذ عدد كبير منها فى مرحلة واحدة؛ ذلك لأن النباتات السريعة النمو يتغير فيها تركيز العناصر تغيرًا كبيرًا خلال فترات زمنية قصيرة؛ ولذا .. يوصى بأخذ العينات النباتية للتحليل فى ثلاث مراحل من النمو. وإذا تعذر تحقيق ذلك فإن أفضل عمر لتحليل النيتروجين والفوسفور هو خلال مراحل النمو المبكرة، بينما يمكن الحصول على صورة أفضل عن البوتاسيوم من تحليل النباتات القريبة من النضج. هذا .. مع العلم بأن تركيز العناصر الكبرى (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم) ينخفض مع تقدم النباتات فى العمر.

ومن أمثلة الأجزاء التى تستخدم فى التحليل: أعناق الأوراق فى البطاطس، والطماطم، والكرفس، والقاوون، والعرق الوسطى للورقة فى الخس، والكرنب، والهندباء، والذرة السكرية. ويلاحظ أن تركيز العناصر فى أعناق الأوراق يزيد — بعدة مرات — عن تركيزه فى أنصال الأوراق (عن Lorenz & Tyler ١٩٨٣).

وإذا ما أُجرى التحليل النباتى مرة واحدة أثناء النمو المحصولى، فإن أفضل موعد لذلك يكون — حسب النمو المحصولى — كما يلى (عن Chatterjee & Dube ٢٠٠٤):

المحصول	الجزء النباتى الذى يؤخذ للتحليل	مرحلة النمو النباتى
البطاطس	الورقة الرابعة إلى السادسة من القمة النامية	٣٠–٤٠ يومًا بعد الزراعة
الطماطم	الورقة الرابعة إلى السادسة من القمة النامية	مرحلة الإزهار المبكر
الفلفل	الأوراق الحديثة المكتملة التكوين	المرحلة المبكرة لعقد الثمار
القنبيط	الأوراق الحديثة الخارجية المكتملة التكوين	مرحلة التكوين المبكر جدًا للقرص
الكرنب	الورقة الأولى المكتملة التكوين من الأوراق الملتفة	قبل بدء تكوين الرؤوس
الفاصوليا	٢–٣ أوراق مكتملة التكوين عند قمة النبات	عند بدء الإزهار
الخضر الجذرية	الأوراق الصغيرة المكتملة التكوين من حلقة الأوراق	قبل بدء زيادة الجذور فى الحجم
الخضر البصلية	الأوراق الصغيرة المكتملة التكوين من المركز	قبل التبصيل
الخضر الورقية	أصغر الأوراق المكتملة التكوين	منتصف النمو

ويستخدم عنق الورقة أو عرقها الوسطى فى تحليل النيتروجين عند تواجد النترات بالأوراق. أما فى حالة عدم وجود النترات بأعناق الأوراق أو بالأنسجة الموصّلة الأخرى فإنه يفضل تقدير النيتروجين الكلى فى نصل الورقة. كذلك يحلل الكلورين فى أعناق الأوراق. وبالنسبة للفوسفور فإن تقديره — فى صورة PO_4 — ذائبًا فى ٢٪ حامض خليك – يكون — غالبًا — فى أعناق الأوراق مع إمكانية استخدام نصل الورقة كذلك. ويفضل استخدام نصل الورقة عند تقدير كل من البوتاسيوم، والكالسيوم، والصوديوم، والمنجنيز، والزنك، والنحاس، والموليبدنم، والبورون، والكبريتات (Ulrich ١٩٨٣).

ومن أكبر المشاكل التى تواجه تحليل النبات — للتعرف على نقص الحديد والعناصر الصغرى — التلوث الخارجى بالعنصر؛ فالأتربة السطحية — مثلاً — يمكن أن تحتوى على حديد يزيد بمقدار عشرة آلاف مرة على تركيز الحديد فى المادة الجافة بالأوراق. كما أن الحديد يمكن أن يصل إلى العينة — بكميات كبيرة — من خلال

الأجهزة أو الزجاجيات أو المواد المستخدمة فى إعداد العينة وتحليلها.

وتجدر الإشارة إلى أن نقص الحديد قد يؤدى إلى فقد دائم فى قدرة البلاستيدات الخضراء على تكوين الكلورفيل. وحينما يتم توفير الحديد فإنه قد يتراكم فى الأوراق المصفرّة ولكنها تبقى كذلك.

وتعد أحدث الأوراق المكتملة النمو هى أفضلها لتحليل الحديد والعناصر الصغرى. يجب غسيل جميع الأوراق المستخدمة كعينات للتحليل غسيلاً جيدًا للتخلص من الملوثات السطحية وخاصة الغبار. ويفضل إجراء الغسيل بعد أخذ العينات مباشرة؛ نظرًا لصعوبة غسيل الأوراق الذابلة (عن Walihan ١٩٨٣).

إن من أكبر عيوب الاعتماد على تحليل النبات فى تقدير الحاجة إلى التسميد أن معظم الخضراوات سريعة النمو، وأنه نادرًا ما تظهر أعراض نقص العناصر قبل أن تصل النباتات إلى مرحلة منتصف نموها، وحينئذ يكون النمو سريعًا. ومع إجراء التحليل يكون الوقت قد أصبح متأخرًا بالنسبة للتسميد الفوسفاتى والبوتاسى، وإن كان من الممكن إعطاء دفعات من الآزوت فى هذه المراحل المتأخرة. وبالرغم من ذلك .. فإن نتائج التحليل تفيد فى وضع البرنامج التسميدى لمحاصيل الخضر التى تزرع مستقبلاً فى نفس الحقل (Lorenz & Tyler ١٩٨٣).

وبداية .. يمكن الاسترشاد بجدول (٣-١٢) الذى يوضح متوسط النسبة المئوية لمختلف العناصر المغذية الضرورية للنبات فى حالات النمو الطبيعى. كما يمكن تقدير مدى الحاجة إلى التسميد من جدول (٣-١٣) الذى يبين المستوى الطبيعى لمعظم العناصر الكبرى فى عدد من محاصيل الخضر.

ويكون من المؤكد ظهور أعراض نقص العناصر إذا انخفض تركيزها فى النبات — على أساس الوزن الجاف — عن ١,٥٪ بالنسبة للنيتروجين، و ٠,٢٪ بالنسبة للفوسفور، و٠,٨٪ بالنسبة للبوتاسيوم (عن Wilcox ١٩٦٩، وMaynard ١٩٧٩).

وكقاعدة عامة .. فإن تركيز العناصر فى الأنسجة النباتية ينخفض مع تقدم النباتات فى العمر، ولكن بعض العناصر — وخاصة عنصرى الكالسيوم والمغنيسيوم — يزداد تركيزها بتقدم النباتات فى العمر.

ويلاحظ أن تراكم المادة الجافة فى النباتات — مع تقدمها فى العمر — يؤدى إلى تخفيف تركيز العناصر فى الأنسجة النباتية عند تقديرها على أساس الوزن الجاف.

جدول (٣-١٢): التركيز الطبيعى للعناصر الضرورية للنبات — فى الأنسجة النباتية — على أساس الوزن الجاف (عن Nelson ١٩٨٥، وJones ١٩٩٧).

العنصر	% أو ppm	ميكرومول / جم
	عناصر غير سمادية (٪)	
الأيدروجين والكربون والأكسجين	٨٩ — ٩٦	—
	عناصر كبرى (٪)	
النيتروجين	١,٥ — ٤	١٠٠٠
الفوسفور	٠,٢ — ٠,٥	٦٠
البوتاسيوم	١,٠ — ٤,٠	٢٥٠
الكالسيوم	٠,٥ — ١,٠	١٢٥
المغنيسيوم	٠,٢ — ٠,٥	٨٠
الكبريت	٠,١ — ٠,٥	٣٠
	عناصر صغرى (جزء فى المليون)	
الحديد	١٠٠ — ٢٠٠	٢,٠
المنجنيز	٥٠ — ٢٠٠	١,٠
الزنك	٢٠ — ٣٠	٠,٣
النحاس	٦ — ١٠	٠,١
البورون	٢٠ — ٦٠	٢,٠
الموليبدنم	٠,١ — ٢,٠	٠,٠٠٠١
الصوديوم	٣٠٠	—
الكلورين	١٠٠ — ١٠٠٠	٣,٠

جدول (٣–١٣): المستوى الطبيعى للعناصر الغذائية المختلفة فى السيقان أو أعناق الأوراق.

المحصول	العنصر بالجزء فى المليون				
	النيتروجين	الفوسفور	البوتاسيوم	المغنيسيوم	الزنك
الفاصوليا	٤٩١	٨٣	٤٠٧٨	١٨٠	٦٩٠
فاصوليا الليما	٨٥٥	١٤١	٥٣٨٩	٢٥٢	١٥٤١
البنجر	١٥٦٠	٦٥	١١٣٢٠	٦٨	٨٤
البروكولى	٢٤٨	٢١٢	٣٧٦٤	١٤٧	٦٤٣
الكرنب	١٢٢٠	١٤٠	٣٤١٠	٢٣٤	٩٦٦
القنبيط	٦٠٠	١٠٩	٣٣١٩	٩٥	–
الكرفس	٣٩٣	٤٠٨	٤١٤٨	٢٦٨	٧٥٠
الكولارد	٧١٢	١١٤	٣٥٤٨	٢٠٢	٧٥٦
الذرة السكرية	٤٤٨	٣٤٣	٥٦٨٣	١٥٨	٣٦٣
اللوبيا	٤٤٧	٢١٥	٣٨٤٦	١٧٩	١٦٦٧
الخيار	١٣٣	٢١٥	٢٥٠٢	٤١١	٦٧٦٣
الباذنجان	١٤٣٣	٢٨٧	٤٣٨١	١١٨	١٥٤٤
الكيل	١٢٠٩	١٦٣	٦٨٩٩	٢٢٩	٧٦٣
الخس	٥٣١	٧٢	٣٢٥٢	١٠٧	١٢٧
القاوون	١١١٧	٦٦	١٥٨٦	٨٥	١١٥٠
البصل	٤٩	١١٤	٢١٦١	٢٥١	٨١١
البقدونس	١٥٤	٢١٧	١٠٣٨	١٤٧	١١٤٣
الفلفل	١٠٤٤	١٠٧	٥٦٥٢	٣٩٧	١٩٤
البطاطس	٧٧٤	٩٤	٥٦٠٢	٢١٢	١١٠٧
الفجل	٣٠٧	٨٣	٣٠١٥	٢٨٧	١١٨٣
الروبارب	٧٠	٢٣٣	٣٩٨٣	٤٥	–
فول الصويا	٣٥٧	٢٠٩	٣٢٧٠	٢٥٨	١٧٥٦
السبانخ	٧٨٩	٣٨١	٥٧١٦	٣١٤	٢٠٣
البطاطا	١٥٣	٩٤	٣١٤٤	١٦٧	٧١٣
الطماطم	٧٤٠	١٥٠	٤١٦٧	٣٣٩	٣٨٣٧
اللفت	٢٤٩٠	٢٠٠	٣٨٧٨	٣٨٢	١٦٢٨

وللتفاعل بين العناصر — وما يصاحبه من تنافس على الامتصاص — دوره في التأثير على تركيز العناصر في الأنسجة النباتية.

كما أن عقد الثمار ونموها قد يؤدى إلى اتجاه العناصر إليها مباشرة، إذ إنها منافس قوى للنموات الخضرية في جذب العناصر إليها — وخاصة النيتروجين والبوتاسيوم (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

اختبارات مراقبة مستوى النيتروجين في النبات

إن من أهم اختبارات مراقبة مستوى النيتروجين في النبات أثناء النمو الحقلي، ما يلي:

- اختبار القطب الكهربائي الانتقائي للنيتروجين nitrate-selective electrode.
- اختبار الشرائح الحساسة للنيتروجين nitrate-sensitive test strips.
- أجهزة قياس الكلوروفيل chlorophyll meters.

يقيس اختبارا القطب الكهربائي والشرائح الحساسة العصير النباتي الذي يحتوى — بالإضافة إلى النترات — على مواد أخرى، منها الكلوريد. وتلك المواد تُقلل من دقة قياسات النترات التي تُجرى باستعمال القطب الكهربائي الانتقائي بدرجة أكبر من تلك التي تعتمد على الشرائح الحساسة.

أما أجهزة قياس الكلوروفيل فهي تدل على ما إذا كان قد تم تمثيل قدر كافٍ من النيتروجين لتعظيم الإنتاج النباتي من عدمه، ولكنها لا تفيد في إعطاء بيان عن الإمداد الحالي من النيتروجين، أو ما إذا كانت النترات قد تراكمت بالزيادة في الأوراق.

وبذا .. فإن أجهزة قياس الكلوروفيل ربما تكون ذا فائدة في مراقبة مستوى النيتروجين بالنبات، إلا إنه لمراقبة كل من كفاية إمدادات النيتروجين ومستوى النترات معًا، فإن اختبار الشرائح هو الوحيد الذي يوصى باستعماله (Parks وآخرون ٢٠١٢).

اختبارات العصير النباتى بأعناق الأوراق

يُعد اختبار العصير النباتى بأعنـاق الأوراق طريقـة سـهلة وسـريعة لمراقبـة وتحديـد مـستوى بعـض العناصـر فـى بعـض محاصـيل الخـضر خـلال موسـم النمـو، وخاصـة للنيتروجين، كما قد يقدر البوتاسيوم كذلك. ولـسرعة التقـدير أهميتهـا عنـد الرغبـة فـى تحديد مستوى العناصر بالنبات قبل إجـراء التـسميد لتحديـد معـدل التـسميد المناسـب. وتعمل معظم أجهزة تقدير العناصر فـى العـصير الخلـوى بالبطاريـة، وتكـون تقـديراتها مناسبة للتمييز بين حالتى نقص وكفاية العناصـر بالنباتـات المختـبرة وإن لم تكـن بدقـة طرق التحليل الكمى المختبرية.

ويتعين لإجراء هذه الاختبارات مراعاة ما يلى:

١- جمع عينة ممثلة من الأوراق العليـا الأحـدث اسـتكمالاً للنمـو، ويلـزم ٢٥- ٣٠ ورقة لكل عينة، مع تجنب استخدام الأوراق المضارة والمصابة بالأمراض.

٢- تفصل أعناق الأوراق وعرقها الوسطى عن النصل سريعًا بعد جمعها.

٣- توضع الأعناق فى كيس بلاستيكى فى حرارة منخفضة.

٤- يُراعى أن يكون جمع العينات فى وقت موحد من اليوم لأن موعد القطف يمكن أن يؤثر فى مستوى النيتروجين.

٥- لا يجب تخزين العصير النباتى المستخدم طويلاً ما لم يكـن مجمـدًا، علمًـا بـأن الأعناق ذاتها يمكن استخدامها بعد سـاعتين مـن قطفهـا فـى الحـرارة المعتدلـة، ولفـترة أطول إذا تركت على الثلج.

٦- يتعين معايرة الجهاز المستخدم قبل استعماله.

٧- تدفأ أعناق الأوراق إلى حرارة الغرفة قبل ضغطها لاستخراج العصير منها.

٨- تقطع الأعناق بسكين نظيف على لوحة قطع نظيفة، وتخلط القطع جيدًا معاً.

٩- تكبس الأعناق لاستخراج العصير - باستعمال عصارة ثوم- مباشرة على إليكترود الجهاز (Ohio State University Extension ٢٠٠٥).

اختبار القطب الكهربائي الانتقائي للنترات

يُستخدم اختبار القطب الكهربائي الانتقائي للنترات في تقدير مستوى النترات في العصير الخلوي للأوراق، وذلك باستعمال جهاز Twin NO_3^-B-341 (شركة Horbia في Kyoto باليابان)، ويكون التقدير لأي تركيز بين ٢٣، و٢٢٣٥ مجم نيتروجين نتراتي / لتر من العصير الخلوي. ويُعاير الجهاز قبل الاستعمال بمحلولين للنترات أحدهما بتركيز ٦٨ مجم/ لتر، والآخر بتركيز ١١٢٩ مجم/لتر. وعند وضع نقطة من العصير الخلوي بين القطبين الكهربائيين، فإن حجم الفولت الذي يتكون يتوقف على مستوى النترات بالعصير، الأمر الذي يسمح بتحديد تركيز النترات.

يفيد هذا الجهاز الذي يُستعمل تحت ظروف الحقل في الحصول على تقديرات لمستوى النترات في النباتات، وقد استخدم بالفعل مع محاصيل مثل الحبوب النجيلية والبروكولي والكرفس والخس والفلفل والطماطم والبطيخ. هذا .. إلا أن التقديرات المتحصل عليها باستعمال هذا الجهاز تكون - عادة - أكبر من القيم الحقيقية؛ وذلك بسبب وجود مواد أخرى ذائبة - منها الكلوريد - في العصير الخلوي تؤثر في القراءة بالزيادة (Parks وآخرون ٢٠١٢).

وقد وجد ارتباط عالٍ جدًّا بين نتائج اختبار محتوى أعناق أوراق الخرشوف من النترات بطريقتين مختلفتين (هما: الـ selective ion meter، والـ referactometer) وطريقة التقدير المختبرية. ولقد لوحظ انخفاضًا تدريجيًّا في محتوى أعناق أوراق الخرشوف من النترات - عند تقديره بكلتا الطريقتين - مع التقدم في موسم النمو. ويستدل من نتائج تلك الدراسة إمكان الاعتماد على هذا الاختبار في التخطيط للتسميد الآزوتي للخرشوف بطريقة آمنة بيئيًّا (Rodrigo & Ramos ٢٠٠٧).

وإلى جانب تقدير النترات بهذه الطريقة .. فإن النيتروجين النتراتي (NO_3^-)، والفوسفور كفوسفات (PO_4^{3-})، والبوتاسيوم (K)، والحديد (Fe^{3+}) تقدر — كذلك — بأجهزة سريعة أخرى، مثل الـ PLANT CHEK kit والـ HACH kit، ويستخدم فيهما — كذلك — العصير النباتي المستخلص من نسيج وعائي مثل أعناق الأوراق والعرق الوسطي للورقة والسيقان (Jones ١٩٩٧).

اختبار الشرائح الحساسة للنترات

تحتوي الشرائح الحساسة للنترات nitrate-sensitive test strips على موقعي وسائد تفاعلية يمكن أن تكتسب لونًا قرمزيًا أحمر لدى تعرضها لمحلول نترات. يمكن لهذه الشرائح أن تقيس النترات شبه كميًا حتى تركيز ٥٠٠ مجم/لتر (شرائح Merkoquant من Merck في Darmstad بألمانيا)، وكميًا حتى ٢٢٥ مجم/لتر (شرائح Reflecoquant من نفس الشركة).

تُغمس الشرائح في محلول النترات (العصير الخلوي) لمدة ثانيتين، ثم يُسمح للون بالتكوين لمدة دقيقة، ويلي ذلك وضع الشرائح في رفراكتومتر يدوي (مثل RQflex إنتاج Merck في Darmstad بألمانيا)، حيث يولّد الضوء المنعكس من الشرائح تيارًا كهربائيًا يظهر كتركيز للنترات.

يكون تقدير النترات بتلك الطريقة دقيقًا إلى درجة كبيرة، لكن يلزم اتخاذ بعض الأمور في الحسبان؛ فالعصير الخلوي يجب أن يُخفف نظرًا لأن الحد الأقصى لتركيز النترات الذي يمكن للجهاز قراءته يقل كثيرًا عن تركيز النترات في العصير الخلوي. ويقلل هذا التخفيف من أخطاء الاستعمال المحتملة، كما يزيد من دقة القياس نظرًا لأن التخفيف يشمل — كذلك — الأيونات الأخرى التي قد يتعارض وجودها مع القراءة، مثل Fe^{3+}، وK^+، وCl^-، والصبغات التي قد تُخفي اللون الذي يظهر بالشريحة.

ومن المحددات الأخرى لاختبار الشرائح الحساسة حساسيتها لدرجة الحرارة؛

ففيما عدا عند حرارة ٢٠°م، فإنه يلزم اللجوء إلى مُعامل تصحيح للحرارة عند انخفاضها حتى ٦°م أو ارتفاعها حتى ٣٠°م وقت إجراء القياس، وذلك لأن قياسات النترات تكون — تقريبًا— ١٠٪ أعلى من الحقيقة عند ٣٠°م، و١٥٪ أقل من الحقيقة عند ١٠°م. ويمكن — كذلك — تقدير قراءة النترات فى محلول معروف التركيز عند نفس درجة الحرارة التى يجرى عليها الاختبار (Parks وآخرون ٢٠١٢).

استخدام أجهزة قياس الكلوروفيل

إن اختبارات قياس الكلوروفيل، مثل SPAD-502 (إنتاج Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan)، وCCM-200 (إنتاج Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, USA) سريعة ولا تُدمر الأنسجة النباتية الورقية المستعملة فى القياس. وتؤخذ قراءة الكلوروفيل بوضع الورقة فى الجهاز والإطباق عليها. يقيس الجهاز امتصاص الورقة للضوء عند طول موجتين؛ ليُظهر قيمة رقمية تتناسب مع كمية الكلوروفيل الموجودة بالورقة.

لا يقيس الجهاز تركيز النترات بصورة مباشرة فى المحصول المستخدم، ولكن بصورة غير مباشرة؛ وذلك بعد الاستدلال على تركيز النترات من قراءات سابقة لتركيز الكلوروفيل — عند مستويات مختلفة — فى نفس المحصول، وتقديرات معملية لتركيز النترات فى كل حالة. ولقد تأيد ذلك الأمر فى عدد من المحاصيل مثل الذرة والخس والسبانخ.

هذا .. إلاّ أن أجهزة قياس الكلوروفيل قد لا تفيد فى حالة زيادة التسميد الآزوتى للخضر الورقية عن حدود الكفاية؛ فالنيتروجين الزائد عن حاجة النبات يخزن فيه على صورة نترات ولا يتم تمثيله إلاّ عند حاجة النبات إليه. وبينما يؤدى نقص النيتروجين إلى نقص الكلوروفيل، فإن زيادته عن حاجة النبات لا تعنى حدوث زيادة مقابلة فى محتواه الكلوروفيلّى (Parks وآخرون ٢٠٠٢).

وقد استخدمت قراءات الـ SPAD فى التعرف على مستوى النيتروجين بأوراق السبانخ، ووجد أن القراءات تنخفض باستمرار مع زيادة طول فترة النمو النباتى، أيًا كانت معاملات التسميد بالنيتروجين. وعند الحصاد ارتبطت قراءات الـ SPAD جوهريًا بكل من محتوى الأوراق الكلى من النيتروجين، والوزن الجاف للورقة، وتركيز النيتروجين النتراتى بها. وبدا أنه من الممكن استخدام قراءات الـ SPAD فى تقدير تركيز النيتروجين النتراتى فى السبانخ، وفى اتخاذ القرارات بشأن التسميد بالنيتروجين تحت ظروف الحقل (Liu وآخرون ٢٠٠٦).

تقييم نتائج تحليل العناصر الأولية: النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم

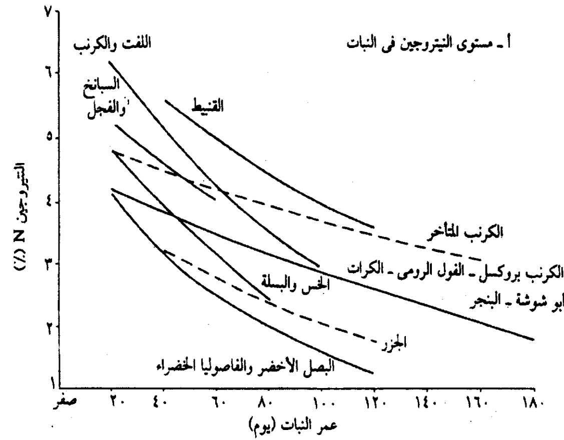
تحتوى أعناق الأوراق أو السيقان العليا لمعظم نباتات الخضر الطبيعية النمو — خلال فترة نموها القوى — على ما لا يقل عن ٨٠٠ جزء فى المليون من النيتروجين النتراتى (على أساس الوزن الطازج). ومع نضج المحصول وتضاؤل النمو الخضرى.. ينخفض تركيز النيتروجين النتراتى — عادة — إلى أقل من ٥٠٠ جزء فى المليون. ويدل تركيز أقل من ٥٠٠ جزء فى المليون فى مرحلة النمو النباتى النشط على نقص النيتروجين.

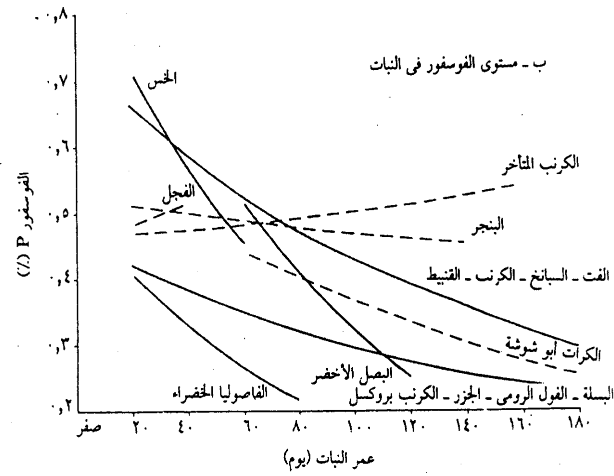
كما تحتوى النباتات — عادة — خلال مراحل نموها المبكرة على ٢٠٠ — ٣٠٠ جزء فى المليون من الفوسفور الذائب فى أعناق الأوراق والسيقان العليا (على أساس الوزن الطازج). ومع نضج المحصول تنتقل كميات كبيرة من هذا الفوسفور إلى الثمار والبذور. ويدل تركيز أقل من ١٢٥ جزءًا فى المليون من الفوسفور الذائب فى مراحل النمو المبكرة على نقص العنصر.

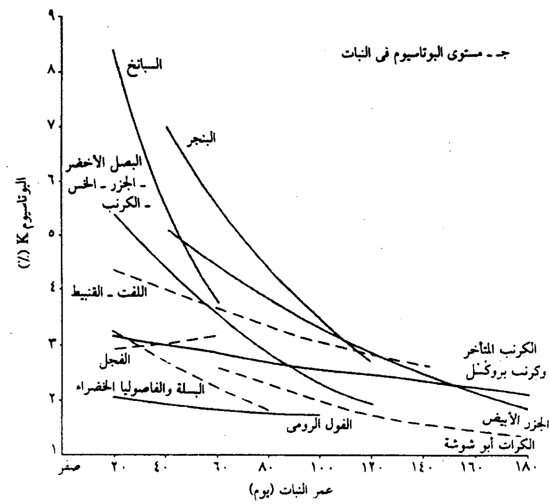
ويجب أن تحتوى أعناق الأوراق والسيقان العليا للنباتات خلال مراحل النمو السريعة الأولى — وقبل بداية نضج الثمار — على أكثر من ١٠٠٠٠ جزء فى المليون من البوتاسيوم (على أساس الوزن الطازج). ومع النضج.. تنتقل كميات كبيرة من البوتاسيوم

إلى الثمار، بينما ينخفض تركيز العنصر بالنموات الخضرية إلى أقل مـن ٣٠٠٠ جـزء فـى المليون. ويدل تركيز أقل من ٥٠٠٠ جزء فـى المليـون مـن البوتاسـيوم فـى مراحـل النمـو المبكرة على نقص العنصر (عن Purvis & Carolus ١٩٦٤).

وبالرغم من التفاصيل التى تقدم بيانها، فإن تقييم نتائج التحاليل لا يكـون دقيقًا بهـذه الصورة العامة؛ ذلك لأن نتائج التحاليل تختلف مـن محـصول لآخـر، ومـن عمـر لآخـر فـى نفس المحصول. ولتجنب تأثير هذه المـتغيرات نعـرض فـى أشـكال: (٣-٢أ)، و(٣-٢ب)، و(٣-٢ج) التغيرات التى تحدث فى تركيز عناصر النـيتروجين، والفوسـفور، والبوتاسـيوم — على التوالى — مع تقدم عمر النبات فى عدد من محاصيل الخضر. كما نقدم فـى جـدول (٣-١٤) بيانًا تفصيليا بمستويات النقص والكفاية من عناصر النـيتروجين والفوسـفور والبوتاسـيوم فى مراحل مختلفة من نمو مختلف محاصيل الخضر، وبيانًا بحـدود مـستويات الكفايـة مـن النيتروجين النتراتى والبوتاسيوم بالجزء فى المليون فـى عـصير أعنـاق الأوراق فـى عـدد مـن محاصيل الخضر فى مراحل مختلفة من تموها فى جدول (٣-١٥).







شكل (٣-٢): التغيرات فى تركيز عناصر النيتروجين (أ)، والفوسفور (ب)، والبوتاسيوم (ج) مع تقدم عمر النبات فى عدد من محاصيل الخضر (عن Scaife & Turner)

هـذا .. وقـد توصـل Minotti وآخـرون (١٩٩٤) مـن دراسـاتهم علـى البطـاطس إلى أن التقـدير الـسريع للكلوروفيـل (باسـتعمال Minolta SPAD-502 Chlorophyll meter) يمكن اتخاذه كأساس لتقييم حاجـة النباتـات إلى التـسميد بـالنيتروجين؛ فقـد وجـد البـاحثون انحدارًا معنويا لمعدل التـسميد الآزوتـى علـى كـل مـن المحـصول الـصالح للتـسويق وقـراءة الــ SPAD.

واقترح الباحثون استخدام قراءة الـ SPAD للتعـرف الـسريع علـى حـالات نقـص الآزوت في البطاطس، ومدى الحاجة إلى التسميد بالعنصر.

جدول (٣-١٤): مستويات النقص والكفاية من عناصر النيتروجين النتراتى (فى صورة NO_3 بالجزء فى المليون)، والفوسفور P (فى صورة PO_4 بالجزء فى المليون)، والبوتاسيوم K (نسبة مئوية) — على أساس الوزن الجاف — لعدد من محاصيل الخضر فى مراحل مختلفة من النمو[أ].

المحصول	مرحلة النمو	الجزء النباتى المستخدم فى التحليل	العنصر	المستوى عند: نقص العنصر	كفاية العنصر
الأسبرجس	منتصف	الـ ١٠ سم القمية من	NO_3	١٠٠	٥٠٠
	مرحلة النمو	الأفرع الخضرية	PO_4	٨٠٠	١٦٠٠
	الخضرى	الجديدة	K	١	٣
الفاصوليا	منتصف النمو	عنق الورقة	NO_3	٢٠٠٠	٣٠٠٠
	الخضرى	الرابعة من	PO_4	١٠٠٠	٢٠٠٠
		القمة النامية	K	٣	٥
	فى	عنق الورقة	NO_3	١٠٠٠	١٥٠٠
	بداية	الرابعة من	PO_4	٨٠٠	١٥٠٠
	الإزهار	القمة النامية	K	٢	٤
البروكولى	منتصف النمو	العرق الوسطى	NO_3	٧٠٠٠	٩٠٠٠
	الخضرى	لورقة حديثة	PO_4	٢٥٠٠	٤٠٠٠
		مكتملة النمو	K	٣	٥
	فى بداية	العرق الوسطى	NO_3	٥٠٠٠	٧٠٠٠
	تكوين البراعم	لورقة حديثة مكتملة	PO_4	٢٥٠٠	٤٠٠٠
	الزهرية	النمو	K	٢	٤

يتبع

تابع جدول (٣-١٤).

المحصول	مرحلة النمو	الجزء النباتى المستخدم فى التحليل	العنصر	المستوى عند نقص العنصر	المستوى عند كفاية العنصر
كرنب بروكسل	منتصف النمو	العرق الوسطى	NO_3	٥٠٠٠	٧٠٠٠
	الخضرى	لورقة حديثة	PO_4	٢٠٠٠	٣٥٠٠
		مكتملة النمو	K	٣	٥
	النمو المتأخر	العرق الوسطى	NO_3	٢٠٠٠	٣٠٠٠
		لورقة حديثة	PO_4	١٠٠٠	٣٠٠٠
		مكتملة النمو	K	٢	٤
الكرنب	عند	العرق الوسطى	NO_3	٥٠٠٠	٧٠٠٠
	تكوين	للأوراق	PO_4	٢٥٠٠	٣٥٠٠
	الرؤوس	المغلفة	K	٢	٤
الكرنب الصينى	عند	العرق الوسطى	NO_3	٨٠٠٠	١٠٠٠٠
	تكوين	للأوراق	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
	الرؤوس	المغلفة	K	٤	٧
القاوون	مرحلة مبكرة	عنق الورقة	NO_3	٨٠٠٠	١٢٠٠٠
	من النمو الخضرى	السادسة من	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
		القمة النامية	K	٤	٦
	مرحلة مبكرة من	عنق الورقة	NO_3	٥٠٠٠	٨٠٠٠
	الإثمار	السادسة من	PO_4	١٥٠٠	٢٥٠٠
		القمة النامية	K	٣	٥
	عند نضج	عنق الورقة	NO_3	٢٠٠٠	٣٠٠٠
	أولى الثمار	السادسة من	PO_4	١٠٠٠	٢٠٠٠
		القمة النامية	K	٢	٤
	مرحلة مبكرة	نصل الورقة	NO_3	٢٠٠٠	٣٠٠٠
	من النمو	السادسة من	PO_4	١٥٠٠	٢٣٠٠
	الخضرى	القمة النامية	K	١	٢,٥

يتبع

تابع جدول (٣-١٤).

المحصول	مرحلة النمو	الجزء النباتي المستخدم في التحليل	العنصر	المستوى عند: نقص العنصر	كفاية العنصر
	مرحلة مبكرة	نصل الورقة	NO_3	١٠٠٠	١٥٠٠
	من الإثمار	السادسة من	PO_4	١٣٠٠	١٧٠٠
		القمة النامية	K	١	٢,٠
	عند نضج	نصل الورقة	NO_3	٥٠٠	٨٠٠
	أولى الثمار	السادسة من	PO_4	١٠٠٠	١٥٠٠
		القمة النامية	K	١	١,٨
الجزر	منتصف	عنق ورقة	NO_3	٥٠٠٠	٧٥٠٠
	النمو	حديثة مكتملة	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
		النمو	K	٤	٦
القنبيط	بداية	العرق الوسطى	NO_3	٥٠٠٠	٧٠٠٠
	تكوين	لورقة حديثة	PO_4	٢٥٠٠	٣٥٠٠
	الأقراص	مكتملة النمو	K	٢	٤
الكرفس	منتصف	عنق أحدث	NO_3	٥٠٠٠	٧٠٠٠
	النمو	الأوراق المكتملة	PO_4	٢٥٠٠	٣٠٠٠
		النمو	K	٤	٧
	قرب	عنق أحدث	NO_3	٤٠٠٠	٦٠٠٠
	النضج	الأوراق المكتملة	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
		النمو	K	٣	٥
خيار التخليل	بداية مرحلة	عنق الورقة	NO_3	٥٠٠٠	٧٥٠٠
	الإثمار	السادسة من	PO_4	١٥٠٠	٢٥٠٠
		القمة النامية	K	٣	٥
خيار السلاطة	بداية مرحلة	عنق الورقة	NO_3	٥٠٠٠	٧٥٠٠
	الحصاد	السادسة من	PO_4	١٥٠٠	٢٥٠٠
		القمة النامية	K	٤	٤

يتبع

تابع جدول (٣-١٤).

المحصول	مرحلة النمو	الجزء النباتي المستخدم في التحليل	العنصر	المستوى عند نقص العنصر	المستوى عند كفاية العنصر
الباذنجان	بداية	عنق ورقة	NO_3	٥٠٠٠	٧٥٠٠
	مرحلة	حديثة مكتملة	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
	الحصاد	النمو	K	٤	٤
الخس	عند بداية	العرق الوسطى	NO_3	٤٠٠٠	٦٠٠٠
	تكوين	للأوراق	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
	الرءوس	المغلّفة	K	٢	٤
	عند	العرق الوسطى	NO_3	٣٠٠٠	٥٠٠٠
	بداية	للأوراق	PO_4	١٥٠٠	٢٥٠٠
	الحصاد	المغلّفة	K	١,٥	٢,٥
الفلفل الحريف	بداية	عنق ورقة	NO_3	٥٠٠٠	٧٠٠٠
	الإزهار	حديثة مكتملة	PO_4	٢٠٠٠	٢٥٠٠
		النمو	K	٣	٥
	بداية عقد	عنق ورقة	NO_3	١٠٠٠	١٥٠٠
	الثمار	حديثة مكتملة	PO_4	١٥٠٠	٢٠٠٠
		النمو	K	٢	٤
	اكتمال نمو	عنق ورقة	NO_3	٧٥٠	١٠٠٠
	الثمار	حديثة مكتملة	PO_4	١٥٠٠	٢٠٠٠
		النمو	K	١,٥	٣
	بداية	نصل ورقة	NO_3	١٥٠٠	٢٠٠٠
	الإزهار	حديثة مكتملة	PO_4	١٥٠٠	٢٠٠٠
		النمو	K	٣	٥
	بداية عقد	نصل ورقة	NO_3	٥٠٠	٨٠٠
	الثمار	حديثة مكتملة	PO_4	١٥٠٠	٢٠٠٠
		النمو	K	٢	٤

يتبع

تابع جدول (٣-١٤).

المحصول	مرحلة النمو	الجزء النباتى المستخدم في التحليل	العنصر	المستوى عند: نقص العنصر	كفاية العنصر
الفلفل الحلو	بداية	عنق ورق حديثة	NO_3	٨٠٠٠	١٠٠٠٠
	الإزهار	مكتملة النمو	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
			K	٤	٦
	بداية عقد	عنق ورقة	NO_3	٣٠٠٠	٥٠٠٠
	الثمار (وهى	حديثة مكتملة	PO_4	١٥٠٠	٢٥٠٠
	بقطر ٢,٥ سم)	النمو	K	٣	٥
	عندما تبلغ الثمار٤/٣	عنق ورقة	NO_3	٢٠٠٠	٣٠٠٠
	حجمها الكامل	حديثة مكتملة	PO_4	١٢٠٠	٢٠٠٠
		النمو	K	٢	٤
	بداية	نصل ورقة	NO_3	٢٠٠٠	٣٠٠٠
	الإزهار	حديثة مكتملة	PO_4	١٨٠٠	٢٥٠٠
		النمو	K	٣	٥
	بداية عقد	نصل ورقة	NO_3	١٥٠٠	٢٠٠٠
	الثمار (وهى بقطر	حديثة مكتملة	PO_4	١٥٠٠	٢٠٠٠
	٢,٥ سم)	النمو	K	٢	٤
البطاطس	بداية موسم	عنق الورقة	NO_3	٨٠٠٠	١٢٠٠٠
	النمو	الرابعة من	PO_4	١٢٠٠	٢٠٠٠
		القمة النامية	K	٩	١١
	منتصف موسم	عنق الورقة	NO_3	٦٠٠٠	٩٠٠٠
	النمو	الرابعة من	PO_4	٨٠٠	١٦٠٠
		القمة النامية	K	٧	٩
	نهاية موسم	عنق الورقة	NO_3	٣٠٠٠	٥٠٠٠
	النمو	الرابعة من	PO_4	٥٠٠	١٠٠٠
		القمة النامية	K	٤	٦

يتبع

تابع جدول (٣-١٤).

المحصول	مرحلة النمو	الجزء النباتى المستخدم في التحليل	العنصر	المستوى عند نقص العنصر	كفاية العنصر
السبانخ	منتصف	عنق ورقة	NO_3	٤٠٠٠	٦٠٠٠
	موسم	حديثة مكتملة	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
	النمو	النمو	K	٢	٤
الكوسة	بداية	عنق ورقة	NO_3	١٢٠٠٠	١٥٠٠٠
	الإزهار	حديثة مكتملة	PO_4	٤٠٠٠	٦٠٠٠
		النمو	K	٦٠	١٠
الذرة السكرية	عند	العرق الوسطى	NO_3	٥٠٠	١٠٠٠
	ظهور	لأول ورقة بعد	PO_4	٥٠٠	١٠٠٠
	الشرّابة	أول كوز	K	٢	٤
البطاطا	منتصف	عنق الورقة	NO_3	١٥٠٠	٢٥٠٠
	موسم	السادسة من	PO_4	١٠٠٠	٢٥٠٠
	النمو	القمة النامية	K	٣	٥
الطماطم الكريزية	بداية عقد	عنق الورقة	NO_3	٨٠٠٠	١٠٠٠٠
	الثمار	الرابعة من	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
		القمة النامية	K	٤	٧
	عندما يبلغ قطر	عنق الورقة	NO_3	٥٠٠٠	٧٠٠٠
	الثمار ١,٢ سم	الرابعة من	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
		القمة النامية	K	٣	٥
	بداية	عنق الورقة	NO_3	١٠٠٠	٢٠٠٠
	الحصاد	الرابعة من	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
		القمة النامية	K	٢	٤
طماطم التصنيع	بداية	عنق الورقة	NO_3	٨٠٠٠	١٢٠٠٠
والاستهلاك	الإزهار	الرابعة من	PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
الطازج المحدودة		القمة النامية	K	٣	٦
النمو	عندما يبلغ قطر	عنق الورقة	NO_3	٤٠٠٠	٦٠٠٠
	الثمار ٢,٥ سم	الرابعة من	PO_4	١٥٠٠	٢٥٠٠
		القمة النامية	K	٢	٤
	بداية تلوّن	عنق الورقة	NO_3	٢٠٠٠	٣٠٠٠
	الثمار	الرابعة من	PO_4	١٠٠٠	٢٠٠٠
		القمة النامية	K	١	٣

يتبع

تابع جدول (٣-١٤).

المحصول	مرحلة النمو	الجزء النباتي المستخدم في التحليل	العنصر	المستوى عند نقص العنصر	المستوى عند كفاية العنصر
طماطم الاستهلاك	بداية	عنق الورقة	NO_3	١٠٠٠٠	١٤٠٠٠
الطازج غير	الإزهار	الرابعة من	PO_4	٢٥٠٠	٣٠٠٠
المحدودة النمو		القمة النامية	K	٤	٧
	عندما يبلغ قطر	عنق الورقة	NO_3	٨٠٠٠	١٢٠٠٠
	الثمار ٢,٥ سم	الرابعة من	PO_4	٢٥٠٠	٣٠٠٠
		القمة النامية	K	٣	٥
	اكتمال نضج	عنق الورقة	NO_3	٤٠٠٠	٦٠٠٠
	الثمار	الرابعة من	PO_4	٢٠٠٠	٢٥٠٠
		القمة النامية	K	٢	٤
البطيخ	بداية	عنق الورقة	NO_3	٥٠٠٠	٧٥٠٠
	الإثمار	السادسة من	PO_4	١٥٠٠	٢٥٠٠
		القمة النامية	K	٣	٥

(أ) النيتروجين النتراتي NO_3 والفوسفور (PO_4) الذائبين في حامض خليك ٢٪، والبوتاسيوم (K) الكلي.

جدول (٣-١٥): حدود مستويات الكفاية من النيتروجين النتراتي والبوتاسيوم بالجزء في المليون في عصير أعناق الأوراق لعدد من محاصيل الخضر في مراحل مختلفة من نموها عند استعمال اختبار عصير أعناق الأوراق (Ohio Vegetable Production Guide ٢٠٠٥).

الخضر	مرحلة النمو النباتي	النيتروجين النتراتي	البوتاسيوم
البروكولي والكولارد	مرحلة الورقة السادسة	٨٠٠ — ١٠٠٠	–
	أسبوع قبل الحصاد الأول	٥٠٠ — ٨٠٠	–
	وقت الحصاد الأول	٣٠٠ — ٥٠٠	–
الخيار	عند أول إزهار	٨٠٠ — ١٠٠٠	–
	الثمار بطول ٧,٥ سم	٦٠٠ — ٨٠٠	–

يتبع

تابع جدول (٣-١٥).

الخضر	مرحلة النمو النباتى	النيتروجين النتراتى	البوتاسيوم
الباذنجان	الثمرة الأولى بطول ٥ سم	١٢٠٠- ١٦٠٠	٤٥٠٠- ٥٠٠٠
	وقت أول حصاد	١٠٠٠- ١٢٠٠	٤٠٠٠- ٤٥٠٠
	منتصف فترة الحصاد	٨٠٠- ١٠٠٠	٣٥٠٠- ٤٠٠٠
الكنتالوب	وقت أول إزهار	١٠٠٠- ١٢٠٠	-
	الثمار بطول ٥ سم	٨٠٠- ١٠٠٠	-
	وقت أول حصاد	٧٠٠- ٨٠٠	-
الفلفل	وقت أول البراعم الزهرية	١٤٠٠- ١٦٠٠	٣٢٠٠- ٣٥٠٠
	أول الأزهار المتفتحة	١٤٠٠- ١٦٠٠	٣٠٠٠- ٣٢٠٠
	الثمار فى مرحلة منتصف النمو	١٢٠٠- ١٤٠٠	٣٠٠٠- ٣٢٠٠
	وقت أول حصاد	٨٠٠- ١٠٠٠	٢٤٠٠- ٣٠٠٠
	وقت الحصاد الثانى	٥٠٠- ٨٠٠	٢٠٠٠- ٢٤٠٠
البطاطس	النباتات بطول ٢٠ سم	١٢٠٠- ١٤٠٠	٤٥٠٠- ٥٠٠٠
	وقت تفتح أول الأزهار	١٠٠٠- ١٤٠٠	٤٥٠٠- ٥٠٠٠
	تفتح ٥٠٪ من الأزهار	١٠٠٠- ١٢٠٠	٤٠٠٠- ٤٥٠٠
	تفتح كل الأزهار	٩٠٠- ١٢٠٠	٣٥٠٠- ٤٠٠٠
	بداية ميل قمة النباتات لأسفل	٦٠٠-٩٠٠	٢٥٠٠- ٣٠٠٠
الكوسة	وقت أول الإزهار	٩٠٠ - ١٠٠٠	-
	وقت أول حصاد	٨٠٠ - ٩٠٠	-
الطماطم الحقلية	مرحلة أول البراعم الزهرية	١٠٠٠- ١٢٠٠	٣٥٠٠- ٤٠٠٠
	أول الأزهار المتفتحة	٦٠٠- ٨٠٠	٣٥٠٠- ٤٠٠٠
	الثمار بقطر ٢,٥ سم	٤٠٠- ٦٠٠	٣٠٠٠- ٣٥٠٠
	الثمار بقطر ٥ سم	٤٠٠- ٦٠٠	٣٠٠٠- ٣٥٠٠
	وقت بداية الحصاد	٣٠٠- ٤٠٠	٢٥٠٠- ٣٠٠٠
	وقت الحصاد الثانى	٢٠٠- ٤٠٠	٢٠٠٠- ٢٥٠٠

يتبع

تابع جدول (٣-١٥).

الخضر	مرحلة النمو النباتي	النيتروجين النتراتي	البوتاسيوم
طماطم الزراعات المحمية	من الشتل حتى ظهور أول عنقود ثمري	١٠٠٠- ١٢٠٠	٤٥٠٠- ٥٠٠٠
	من العنقود الثمري الثاني إلى الخامس	٨٠٠- ١٠٠٠	٤٠٠٠- ٥٠٠٠
	موسم الحصاد	٧٠٠- ٩٠٠	٣٥٠٠- ٤٠٠٠
البطيخ	النمو الخضري بطول ١٥ سم	١٢٠٠- ١٥٠٠	٤٠٠٠- ٥٠٠٠
	الثمار بطول ٥ سم	١٠٠٠- ١٢٠٠	٤٠٠٠- ٥٠٠٠
	الثمار في منتصف اكتمال ثمرها	٨٠٠- ١٠٠٠	٣٥٠٠- ٤٠٠٠
	بداية الحصاد	٦٠٠- ٨٠٠	٣٠٠٠- ٣٥٠٠

تقييم نتاج تحليل العناصر الصغرى

يوضح جدول (٣-١٦) مستويات النقص، والكفاية، والسمية للعناصر الصغرى في الأوراق المكتملة النمو، وهي متوسطات لعدة أنواع نباتية سجلت في ظروف متباينة. وتتطلب الدقة التعرف على مستويات نقص وكفاية العناصر في كل محصول على حدة، كما في جدول (٣-١٧) بالنسبة لعنصر البورون، وجدول (٣-١٨) بالنسبة لعنصر الموليبدنم.

جدول (٣-١٦): مستويات النقص، والكفاية، والسمية للعناصر الصغرى في الأوراق المكتملة النمو بالجزء في المليون على أساس الوزن الجاف (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

العنصر	مستوى النقص	مستوى الكفاية	مستوى السمية
البورون	< ١٥	٢٠-١٠٠	> ٢٠٠
النحاس	٤	٥-٢٠	> ٢٠
الحديد	٥٠	٥٠-٢٥٠	غير معروف
المنجنيز	٢٠	٢٠-٥٠٠	> ٥٠٠
الموليبدنم	٠,١	٠,٥	غير معروف
الزنك	٢٠	٢٥-١٥٠	> ٤٠٠

جدول (٣-١٧): مستوى نقص، وكفاية، وسمية عنصر البورون فى محاصيل الخضر (عن Gupta ١٩٧٩).

المحصول	الجزء النباتى ومرحلة النمو	تركيز العنصر بالجزء فى المليون فى المادة الجافة عند		
		مستوى النقص	مستوى الكفاية	مستوى السمية
الروتاباجا	الأوراق عند الحصاد	٢٠- ٣٨	٣٨- ١٤٠	< ٢٥٠
	الأوراق عند بداية تضخم الجذور	٣٢- ٤٠	٤٠	–
	الجذور	< ٨	١٣	–
القنبيط	النمو القمى قبل تكوين الأقراص	٣	١٢- ٢٣	–
	الأوراق	٢٣	٣٦	–
	الأوراق عند تكوّن ٥٪ من الأقراص	٤- ٩	١١- ٩٧	
البروكولى	الأوراق	–	٧٠	–
	الأوراق عند تكوّن ٥٪ من الرءوس	٢- ٩	١٠- ٧١	–
كرنب بروكسل	الأوراق عند بداية تكوّن البراعم	٦- ١٠	١٣- ١٠١	–
الجزر	نصل الأوراق المكتملة النمو	<١٦	٣٢- ١٠٣	١٧٥- ٣٠٧
	الأوراق	١٨	–	–
الطماطم	النباتات	١٤- ٣٢	٣٤- ٩٦	٩١- ٤١٥
	الأوراق الحديثة من قمة النبات	< ١٠	٣٠- ٧٥	< ٢٠٠
الكرفس	أعناق الأوراق	١٦	٢٨- ٧٥	–
البطاطس	نباتات بعمر ٣٢ يومًا	–	١٢	<١٨٠
	أحدث الأوراق المكتملة النمو عند عمر ٧٥ يوما	<١٥	٢١- ٥٠	< ٥٠
الفاصوليا	نباتات بعمر ٤٣ يوما	–	١٢	< ١٦٠
	الأوراق والسيقان	–	٤٤	١٣٢
	النموات الخضرية بعد شهر من الزراعة	–	٣٦- ٩٤	١٤٤
الخيار	الأوراق المكتملة النمو من منتصف الساق بعد أسبوعين من بداية الحصاد	< ٢٠	٤٠- ١٢٠	< ٣٠٠

جدول (٣-١٨): مستوى نقص وكفاية عنصر الموليبدنم فى محاصيل الخضر (عن Gupta & Lipsett ١٩٧٩).

المحصول	الجزء النباتى ومرحلة النمو	تركيز العنصر بالجزء فى المليون فى: مستوى النقص	مستوى الكفاية
الفاصوليا	النمو الخضرى (بعمر ٨ أسابيع)	–	٠,٤
البنجر	النمو الخضرى (بعمر ٨ أسابيع)	٠,٠٥	٠,٦٢
البروكولى	النمو الخضرى (بعمر ٨ أسابيع)	٠,٠٤	–
كرنب بروكسل	النباتات الكاملة عند بداية تكوين البراعم	< ٠,٠٨	٠,١١ – ٠,٦٩
الكرنب	النباتات عند بداية تكون الرؤوس	< ٠,٢٦	٠,٦٨ – ١,٤٩
القنبيط	النباتات الكاملة قبل بداية تكون الأقراص	< ٠,١١	٠,٥٦
	عندما تُظهر الأوراق الحديثة أعراض طرف السوط	٠,٠٧	–
الخس	الأوراق	٠,٠٦	٠,٠٨ – ٠,١٤
السبانخ	النمو الخضرى عند النضج الطبيعى	–	٠,١٥ – ١,٠٩
الطماطم	الأوراق (بعمر ٨ أسابيع)	٠,١٣	٠,٦٨

التعرف على مدى الحاجة إلى التسميد بتقدير كمية العناصر التى يستنفذها المحصول من التربة

لقد أمكن تقدير كميات العناصر الغذائية التى تمتصها محاصيل الخضر المختلفة من التربة. وهذه التقديرات موضحة فى جدول (٣-١٩).

ويمكن الاستعانة بهذه التقديرات – بالإضافة إلى نتائج تحليل التربة – فى تقدير مدى الحاجة إلى التسميد. ورغم أن جدول (٧-١٧) يُبيّن كميات العناصر التى تصل إلى الجزء المستهلك اقتصاديًا من النبات – وهو الذى يُزال نهائيًا من الحقل – والكميات التى تصل إلى أجزاء النبات الأخرى، وهى التى تعود إلى الحقل مرة أخرى، إلا أنه يجب توفير الكمية الكلية التى يحتاج إليها النبات لكى ينمو نموًا جيدًا.

ويلاحظ من الجدول مدى ضآلة كمية الفوسفور التى تمتصها النباتات من التربة،

ولكن يجب أن يتوفر الفوسفور بالتربة بكميات أكبر من ذلك بكثير؛ حتى يمكن للنباتات امتصاص حاجتها من هذا العنصر. ويلاحظ أيضًا أن الخضر الورقية تزيل كميات أكبر من العناصر الغذائية من التربة، بالمقارنة بالخضر البذرية.

جدول (٣-١٩): كميات العناصر التى تمتصها محاصيل الخضر من التربة.

المحصول	الجزء النباتى	المحصول أو الوزن الطازج للجزء النباتى (طن / فدان)	كميات العناصر الممتصة من التربة (كجم /فدان) N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
الخرشوف	النورات	١٠	٣٠	١٨	٦٥	١٣	٦
	السيقان والأوراق	٣٠	٥٥	١٢	٢٣٠	٧٢	١٩
الأسبرجس	المهاميز	١,٥	١٥	١٠	٢٠	–	–
الفاصوليا	القرون	٢	٥٠	٣	٥	٢	١
	الأوراق والسيقان	٧	٢٠	٢	٢٠	١٣	٢
فاصوليا الليما	البذور	١	٢٥	٦	١٢	٠,٥	٢
	الأوراق والسيقان	٤	٢٠	٦	٤٠	٤٠	٤
البنجر	الجذور	٩	٣٠	٤	٤٠	٣	٦
	الأوراق	٦	٤٠	–	٢٥	٤٥	٤٥
البروكولى	البراعم	٦	٣٠	١٠	٢٥	–	–
الكرنب	الرؤوس	٩	٣٠	٩	٢٥	٧	٢
الجزر	الجذور	١٥	٣٠	١٢	٤٠	١٠	٥
	الأوراق	٧	٣٥	٤	٦٠	١٠٠	٥
القنبيط	الرؤوس	٨	٣٠	٩	٢٥	٥	٣
الكرفس	النمو الخضرى	١٥	٣٥	٢٠	٨٠	٣٠	٦
الكولارد	الأوراق والسيقان	٥	٢٠	٤	٢٥	٧	١
الذرة السكرية	الكيزان	٢	٩	٤	٣	٠,٥	١
	الأوراق والسيقان	٦	١٥	٥	٧	٣	٣
الخيار	الثمار	٦	٦	٢	١٠	١	١
	الأوراق والسيقان	٣	١٥	٤	١٧	١٣	٣

يتبع

تابع جدول (٣-١٩).

المحصول	الجزء النباتى	المحصول أو الوزن الطازج للجزء النباتى (طن / فدان)	كميات العناصر الممتصة من التربة (كجم /فدان) N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
الطرطوفة	الدرنات	٩	٣٠	١٢	٤٥	–	–
	الأوراق والسيقان	١٥	٢٠	١٠	٣٥	–	–
الكيل	الأوراق والسيقان	٥	٢٠	٧	١٦	١٥	٣
الخس	النمو الخضرى	١٢	٣٠	١٠	٦٠	١٥	٦
القاوون	الثمار	٥	١٢	٥	٢٥	٢٥	٣
	الأوراق والسيقان	٢	١٠	٢	١٤	٤	٣
البامية	القرون	٥	٦	٢	١٧	٥	٢
	الأوراق والسيقان	٦	٤	٢	١٢	١٧	–
البصل	الأبصال	١١	٢٥	١٠	٢٥	٥	٢
	النمو الخضرى	٣	١٠	٢	٢٠	–	–
البقدونس	النمو الخضرى	٧	١٢	٣	١٠	١٢	٢
البسلة	البذور	١,٥	١٥	٣	٤	١	١
	الأوراق والسيقان	٩	٢٥	٨	٢٥	٢٠	٨
الفلفل	الثمار	٢	٣	٥	٣	٤	٠,٥
	الأوراق والسيقان	٣	٩	٨	٦	٩	١٠
البطاطس	الدرنات	١٢	٤٠	١٢	٥٥	–	–
	الأوراق والسيقان	٩	٣٠	٥	٥٥	٣٠	٩
القرع العسلى	الثمار	٩	١٨	٤	٢٠	٥	٣
	الأوراق والسيقان	٣	١٢	٣	١١	٤٥	٦
الروتاباجا	الجذور	٩	١٨	٥	١٥	٦	٢
	النمو الخضرى	١٢	–	٩	٣٠	٢٧	٣
السبانخ	النمو الخضرى	٦	٣٠	٩	٢٥	٧	٤
الكوسة	الثمار	٨	٩	٣	١٥	٣	٢
	الأوراق والسيقان	٨	٢٧	٣	٢٧	٨٠	١٠

يتبع

تابع جدول (٣-١٩).

المحصول	الجزء النباتى	المحصول أو الوزن الطازج للجزء النباتى (طن / فدان)	كميات العناصر الممتصة من التربة (كجم /فدان) N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
البطاطا	الجذور	٨	٢٢	٧	٣٥	٥	٥
	الأوراق والسيقان	٧	٢٠	٥	٣٥	١٥	٤
الطماطم	الثمار	١٢	٣٠	٩	٤٠	٣	٤
	الأوراق والسيقان	٢	٢٠	١١	٥٥	٤٥	٩
اللفت	الجذور	٩	٢٥	٨	٣٥	٦	٢
	النمو الخضرى	٩	٤٠	٤	١٦	٢٥	٨

العوامل المؤثرة على كمية السماد التى تحتاج إليها محاصيل الخضر

عوامل خاصة بالنبات

تختلف الخضراوات كثيرًا فى كمية العناصر الغذائية التى تمتصها النباتات من التربة، وفى كمية العناصر التى يحصل عليها الجزء المستهلك اقتصاديًّا من النبات (وهو الذى يُزال نهائيًا من التربة) بالمقارنة بالكمية التى تحصل عليها أجزاء النبات الأخرى (وهى التى تعود إلى التربة مرة أخرى)، وقد أسلفنا بيان ذلك فى جدول (٣-١٩).

كما تختلف محاصيل الخضر فى مدى استجابتها للتسميد بالعناصر المغذية الصغرى والدقيقة، ويتضح ذلك من جدول (٣ -٢٠).

وكان Purvis & Hanna (١٩٤٠) قد قسما الخضراوات إلى أربع مجاميع حسب تحملها للتسميد بالبورون فى تربة طميية رملية كالتالى:

١- خضراوات شديدة التحمل للتسميد بالبورون، ويمكن أن يصل معدل التسميد بالبوراكس معها إلى ٢٢ كجم/ فدان، وهى: البنجر — القنبيط — المسترد — الطماطم — اللفت.

٢- خضراوات تتحمل التسميد بالبورون، لكن يجب ألا يزيد معدل التسميد بالبوراكس معها على ١٢,٥ كجم/ فدان، وهى: الذرة السكرية- الكيل- الفلفل — البصل — الكرنب — الجزر — الباذنجان- الخس- السبانخ — البطاطا — فاصوليا الليما.

٣- خضراوات حساسة للتسميد بالبورون، ويجب ألا يزيد معدل التسميد بالبوراكس معها على ٤,٥ كجم/ فدان، وهى: الكرفس — البطيخ — البسلة — البطاطس — الكوسة — القاوون.

٤- خضراوات شديدة الحساسية للتسميد بالبورون، ويجب ألا يزيد معدل التسميد بالبوراكس معها على ٢,٢٥ كجم / فدان، وهى: اللوبيا — الخيار — الفاصوليا — الفراولة.

جدول (٣-٢٠): استجابة محاصيل الخضر للتسميد بالعناصر الغذائية المختلفة.

الخضر	الاستجابة للتسميد بعنصر					
	المنجنيز	البورون	النحاس	الزنك	الموليبدنم	الحديد
الأسبرجس	أ	أ	أ	أ	أ	ب
الفاصوليا	جـ	أ	أ	جـ	ب	جـ
البنجر	جـ	جـ	جـ	ب	جـ	جـ
البروكولى	ب	ب	ب	–	جـ	جـ
الكرنب	ب	ب	ب	–	ب	ب
الجزر	ب	ب	ب	أ	أ	–
القنبيط	ب	جـ	ب	–	جـ	جـ
الكرفس	ب	جـ	ب	–	أ	–
الخيار	ب	أ	ب	–	–	–
الخس	جـ	ب	جـ	–	جـ	–
البصل	جـ	أ	جـ	جـ	جـ	–
البسلة	جـ	أ	أ	أ	ب	–
البطاطا	جـ	أ	أ	ب	أ	–
الفجل	جـ	ب	ب	–	ب	–
السبانخ	جـ	ب	جـ	–	جـ	جـ
الذرة السكرية	ب	أ	ب	جـ	أ	ب
الطماطم	ب	ب	ب	ب	ب	جـ
اللفت	ب	جـ	ب	–	ب	–

أ- الاستجابة قليلة ب- الاستجابة متوسطة. ج- الاستجابة كبيرة

كذلك قسم Eaton (١٩٤٤) الخضر إلى ثلاث مجموعات حسب تحملها للبورون فى مزرعة رملية كالتالى:

١- خضر تتحمل البورون، وهى: اللفت - البنجر - القاوون - البامية - الخرشوف - الأسبرجس.

٢- خضر متوسطة التحمل، وهى: البسلة - فاصوليا الليما - البطاطا - البصل - الجزر - الفلفل - الذرة السكرية - البطاطس - الكرنب - الفجل - الكرفس - المسترد - البقدونس - الخس - الطماطم.

٣- خضر حساسة، وهى: الفراولة - الفاصوليا العادية - اللوبيا - الطرطوفة.

هذا .. وقد رتبت الخضر فى كل مجموعة تنازليًا حسب درجة تحملها للبورون.

عوامل خاصة بالأسمدة المستعملة، والعناصر المغذية المضافة

تتوقف كمية السماد التى تلزم إضافتها على العوامل التالية:

أولا: كمية الأسمدة العضوية المستخدمة

فيلزم خفض مقررات الأسمدة الكيميائية عند إضافة أسمدة عضوية. ويتوقف مدى الخفض على كميات الأسمدة العضوية، وذلك حسب المعدلات المبينة فى جدول (٣-٢١). ويراعى عدم الاعتماد فى التسميد على الأسمدة العضوية فقط؛ لأنها تعتبر فقيرة فى الفوسفور. وإذا حدث وأضيفت منها كميات كبيرة بدرجة تكفى لمد حاجة النبات من عنصر الفوسفور، فإن ذلك يكون مصاحبًا بزيادة كبيرة فى النيتروجين؛ ولذلك فإنه يفضل دائمًا إضافة جزء من السماد فى صورة عضوية، وجزء آخر فى صورة أسمدة كيميائية.

جدول (٣-٢١): تأثير كمية السماد العضوى المضافة على كمية السماد الكيميائى التى يتعين استخدامها.

كمية السماد العضوى المضافة (طن / فدان)	كمية السماد الكيميائى التى يجب إضافتها كنسبة مئوية من الكمية المقررة أصلاً
صفر - ٥	١٠٠
٥ - ١٠	٩٠
١٠ - ٢٠	٧٥
٢٠ فأكثر	٥٠

هذا .. ولا تطبق القاعدة المبينة فى جدول (٣-٢١) إلا على الأسمدة العضوية المتحصل عليها من الماشية والخيل، أما تلك المتحصل عليها من مخلفات الدواجن أو الأغنام، فيجب ألا تزيد الكمية المستخدمة منها على ٤ أطنان / فدان عند إضافتها نثرًا أو طن واحد / فدان عند إضافتها إلى جانب النباتات.

وبالنسبة للأسمدة الخضراء، فإنه يلزم — عند قلبها فى التربة — تقليل كمية السماد الكيميائى المضافة إلى ٨٠٪ من الكمية المقررة التى تضاف عادة.

ثانيًا: العنصر السمادة المستعمل

تتوقف كمية السماد التى يجب استعمالها على العنصر الغذائى الذى يوجد بالسماد؛ فالنيتروجين يتعرض للفقد بالرشح بفعل مياه الأمطار أو مياه الرى بانتقاله إلى الطبقات السفلى من التربة، أو بفقده فى ماء الصرف؛ ويعنى ذلك ضرورة إضافة النيتروجين على دفعات، وتعويض ما يفقد منه بالرشح.

وبالنسبة للفوسفور، فإنه يلزم دائمًا التسميد بكميات أكبر من تلك التى يمتصها المحصول المزروع؛ لأن الفوسفور يثبت بدرجة عالية فى معظم الأراضى، كما أن الكثير من الخضراوات يكون مجموعها الجذرى قليل الانتشار فى التربة، ولا يصل إلى كل السماد المضاف؛ وبذلك لا يستفاد من جزء من هذا السماد.

أما البوتاسيوم، فإنه لا يثبت فى التربة إلا بدرجة ضئيلة إذا قورن بالفوسفور. وعليه .. فإن إضافة كميات كبيرة من البوتاسيوم قد تعنى فقد جزء منه بالرشح مع ظهور كميات زائدة منه فى المحلول الأرضى. وتجدر الإشارة إلى أن الأراضى الرملية تعد فقيرة فى محتواها من البوتاسيوم، وكذلك يقل البوتاسيوم فى الأراضى الجيرية لإحلال كاتيونات الكالسيوم محله، بينما يوجد البوتاسيوم بكثرة فى الأراضى الرسوبية.

ثالثًا: قانون العامل المحدد (Low of the limiting factor)

تبعًا لقانون العامل المحدد، فإن النباتات لا يمكنها الاستفادة من العناصر الغذائية

المضافة، أو من تلك الموجودة فى التربة إلا بالقدر الذى يتناسب مع أقل العناصر الغذائية توفرًا فى التربة؛ فإذا أُضيف العنصر المحدد للنمو يزداد نمو النباتات إلى أن يصبح عنصرًا آخر محددًا للنمو، وهكذا.

رابعًا: التنافس بين العناصر الغذائية

تؤدى زيادة التسميد بعنصرٍ ما إلى زيادة امتصاص النبات من هذا العنصر، ويكون ذلك على حساب امتصاص النبات من عنصرٍ أو عناصر أخرى؛ فتظهر أعراض نقصها. ويوضح جدول (٣-٢٢) أهم حالات التنافس بين العناصر الغذائية.

جدول (٣-٢٢): حالات التنافس بين العناصر الغذائية.

عند زيادة عنصر	تظهر أعراض نقص عنصر
النيتروجين	البوتاسيوم
البوتاسيوم	الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم
الصوديوم	البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم
الكالسيوم	المغنسيوم والبورون
المغنيسيوم	الكالسيوم
الحديد	المنجنيز
المنجنيز	الحديد

خامسًا: سمية العناصر

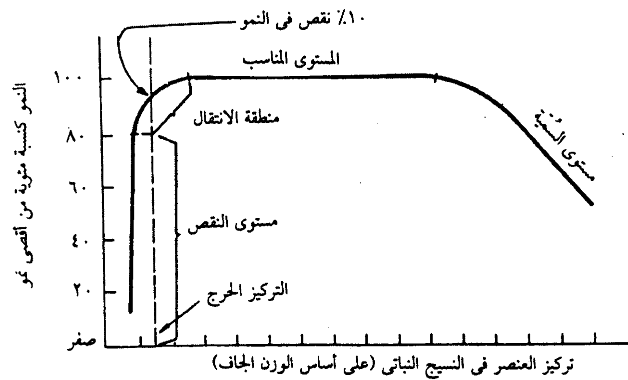
يرتبط العامل السابق (التنافس بين العناصر) بهذا العامل، وغالبًا ما يظهران معًا. فتؤدى زيادة التسميد بعنصرٍ ما إلى زيادة امتصاص النبات من هذا العنصر، كما يزداد المحصول بصورة تدريجية إلى أن يصل مستوى التسميد إلى الحد الأمثل، وهو المستوى الذى يعطى عنده النبات أعلى محصول. وبزيادة مستوى التسميد على هذا الحد تبدأ ظهور أعراض التسمم بهذا العنصر؛ حيث يحدث:

١- استمرار الزيادة فى امتصاص النبات من هذا العنصر.

٢- نقص تدريجي في المحصول (شكل ٣-٣).

٣-التنافس بين هذا العنصر والعناصر الأخرى، ويبدأ ظهور أعراض نقصها.

هذا .. وتعرف الزيادة فى امتصاص العنصر بأكثر مما يحتاج النبات باسم الاستهلاك الترفى luxury consumption (شكل ٣-٣)، وهى التى تتسبب فى ظهور أعراض التسمم. ويجب أن تتوقف الزيادة فى التسميد عند بداية مرحلة الاستهلاك الترفى.



شكل (٣-٣): تأثر الزيادة فى مستوى التسميد بعنصر معين على المحصول (عن Ulrich ١٩٨٣).

ويمكن تقسيم المرحلة السابقة للنقص فى المحصول مع زيادة مستوى التسميد إلى ثلاث مراحل: فى الأولى تكون الزيادة فى النمو والمحصول كبيرة، مع زيادة كمية السماد المضافة. وفى الثانية تكون الزيادة فى النمو والمحصول بطيئة مع زيادة كمية السماد المضافة، وهى مرحلة الانتقال transition zone. وفى الثالثة لا يحدث نقص أو زيادة فى المحصول مع زيادة مستوى التسميد. ويبدأ الاستهلاك الترفى فى هذه المرحلة، لكن لا تبدأ أعراض التسمم فى الظهور إلا مع بداية النقص فى النمو والمحصول.

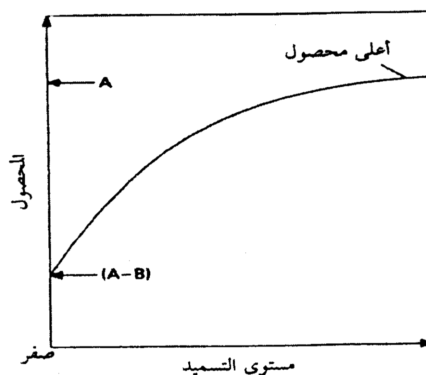
ولمزيد من التفاصيل عن تأثير التسميد الزائد بالعناصر الدقيقة.. يراجع Bould وآخرون (١٩٨٣) والعددان الأول والثانى من المجلد الثانى من الدورية العلمية "Journal of Plant Nutrition"، ففيهما ٤٨ بحثًا ومقالة علمية متخصصة تغطى الموضوع من كافة جوانبه.

سادسًا: قانون الغلة المتناقصة

إن الاستجابة لزيادة معدلات التسميد تتبع — غالبًا — قانون الغلة المتناقصة Law of Diminishing Returns؛ بما يعنى أن الزيادة فى المحصول التى تنشأ عن إضافات متساوية متتالية من العنصر السمادى تتناقص تدريجيًا؛ فإذا كانت y هى المحصول، وx هى كمية العنصر السمادى (النيتروجين مثلاً).. فإن :

$$y = A - B \exp(-Cx).$$

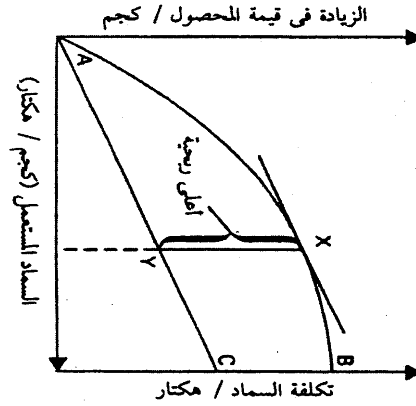
وكما فى شكل (٣-٤) فإن A هى أقصى محصول يمكن الحصول عليه، و(A-B) هى المحصول الذى يمكن الحصول عليه دون أى تسميد، فى حين أن C هى معدل التغير فى y مع التغير فى x.



شكل (٣-٤): منحنى الاستجابة للتسميد.

يلاحظ — غالبًا — نقص فى المحصول عند المستويات العالية من الأسمدة، وخاصة الأسمدة الآزوتية؛ الأمر الذى دفع العلماء إلى محاولة إيجاد علاقة أكثر إحكامًا بين المحصول ومعدلات التسميد؛ بحيث يمكن إيجاد معدلات التسميد التى تعطى أعلى ربحية، وليست — بالضرورة — التى تعطى أعلى محصول، كما فى شكل (٣-٥).

فعند مقارنة قيمة المحصول الإضافى الناتج من زيادة معدلات التسميد (المنحنى AB) مع خط تكلفة التسميد (AC)، فإن الخط العمودى XY يدل على معدل التسميد الذى يعطى أعلى عائد من وحدة المساحة. وإذا تغيرت قيمة المحصول أو أسعار الأسمدة المستخدمة فإن الخط XY يتحرك يمينًا أو يسارًا إلى موقع جديد (عن White ١٩٨٧).



شكل (٣-٥): تحديد أعلى ربحية للتسميد من وحدة المساحة المزروعة.

تأثير معدلات التسميد فى شدة الإصابة بالأمراض

يؤدى استعمال مستويات عالية من الأسمدة الآزوتية إلى زيادة شدة الإصابة بالأمراض، كما أن لمصدر الآزوت أهمية مماثلة لكميته.

والاتجاه العام هو أن النيتروجين الأمونيومى يؤدى إلى زيادة شدة الإصابة بالأمراض بصورة أكبر من النيتروجين النتراتى، مع وجود شواذ لهذه القاعدة.

ونجد أن الإصابة بفطريات الذبول الفيوزارى — وهى طفيليات تعيش فى الخشب، ويمكنها استعمال الآزوت النتراتى — تنخفض عند زيادة معدلات التسميد النتراتى.

ويحدث تأثير مماثل للأسمدة — كذلك — بالنسبة للأمراض التى تصيب النموات الخضرية؛ فتزيد شدة الإصابة بالأصداء والبياض الدقيقى بزيادة التسميد النتراتى، وتنخفض بزيادة التسميد النشادرى (عن Dixon ١٩٨١)، وتزداد إصابة البروكولى بعفن الرؤوس (الذى تسببه — غالبًا — أنواع مختلفة من جنسى البكتيريا *Pseudomonas*، و *Erwinia*) بزيادة التسميد الآزوتى إلى ١٩٦ كجم نيتروجينًا للهكتار (Everaarts ١٩٩٤).

ويبين جدول (٣-٢٣) تأثير الأسمدة الآزوتية — بنوعيها النتراتى والنشادرى — على شدة الإصابة ببعض الأمراض فى محاصيل الخضر.

جدول (٣-٢٣): تأثير نوعية السماد الآزوتى (نتراتى أم أمونيومى) على شدة الإصابة بالأمراض فى محاصيل الخضر (عن Palti ١٩٨١).

المحصول	المرض	المسبب	شدة الإصابة عند التسميد بآزوت: نتراتى	شدة الإصابة عند التسميد بآزوت: نشادرى
الفاصوليا	عفن الجذور	*Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*	تنخفض	تزداد
	الذبول	F. *oxysporum* f.sp. *phaseoli*	تنخفض	تزداد
الفول الرومى	التبقع البنى	*Botrytis fabae*	تنخفض	تزداد
البسلة	عفن الجذور	*Aphanomyces euteiches*	تنخفض	تزداد
	عفن الجذور	*Pythium* spp.	تزداد	تنخفض
عدة خضر	العفن الفحمى	*Macrophomina phoseolina*	تنخفض	تزداد
البطاطس	العفن الرايزكتونى	*Rhizoctonia solani*	تنخفض	تزداد
	الذبول	*Verticillium albo-atrum*	تزداد	تنخفض

يتبع

تابع جدول (٣-٢٣).

المحصول	المرض	المسبب	شدة الإصابة عند التسميد بآزوت	
			نتراتى	نشادرى
	الجرب	*Streptomyces scabies*	تزداد	تنخفض
الطماطم	الذبول	*V. albo-atrum* & *V. dalhiae*	تزداد	تنخفض
	الذبول	*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*	تنخفض	تزداد
	عفن الثمار والجذور	*Colletotrichum phomoides*	تزداد	تنخفض
	الذبول البكتيرى	*Pseudomonas solanacearum*	تزداد	تنخفض

ومن المعروف أن التسميد البوتاسى يُسهم فى خفض معدلات الإصابة بالأمراض. ومن أهم الأمراض التى تنخفض شدة الإصابة بها مع زيادة معدلات التسميد البوتاسى ما يلى: (عن Palti ١٩٨١)

المحصول	المرض	المسبب المرضى
القاوون	الذبول	*Fusarium oxysporum* f. *melonis*
الطماطم	الندوة المبكرة	*Alternaria solani*
الكرنب	الإصفرار	*F. oxysporum* f. *conglutinans*
القنبيط	البياض الزغبى	*Peronospora parasitica*
البسلة	عفن الجذور	*Aphanomyces euteiches*
الكاسافا	الذبول البكتيرى	*Xanthomonas manihotis*
فاصوليا الليما	اللفحة البكتيرية	*Pseudomonas syringae*

ويعتقد أن الإصابة بأمراض الذبول تنخفض بزيادة معدلات التسميد البوتاسى؛ كما هى الحال بالنسبة لمرض الذبول الفيوزارى فى الطماطم، إلا أنه لم يكن للتسميد البوتاسى أية تأثيرات على كل من ذبول فيرتسيليم (المتسبب عن الفطر *Verticillium albo-atrum*)، والذبول البكتيرى (المتسبب عن البكتيريا *Pseudomonas solanacearum*)، والتقرح البكتيرى (المتسبب عن البكيتريا *Clavibacter michiganensis* ssp.

michiganensis) فى الطماطم (عن Dixon ١٩٨١).

ومن المعروف كذلك أن زيادة التسميد الفوسفاتى تؤدى إلى انخفاض معدلات الإصابة بأعفان الجذور.

كما أن زيادة الكالسيوم تؤدى إلى تقليل شدة الإصابة بذبول فيرتسيليم فى الطماطم.

المعدلات العامة للتسميد فى محاصيل الخضر

معدلات التسميد بالنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم

يصعب وضع معدلات محددة للتسميد فى محاصيل الخضر المختلفة؛ بسبب تباين الظروف المؤثرة فى هذا الشأن، لكن قد يكون من الممكن وضع معدلات عامة للتسميد يُسترشد بها فى الحالات الخاصة. وقد اجتهد الباحثون كثيرًا فى هذا المجال .. فيعطى Lorenz & Maynard (١٩٨٠) المعدلات العامة للتسميد بالنيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم لخمس من مجاميع الخضر؛ هى: البطاطس، والخضر الورقية، والخضر الثمرية، والخضر الجذرية، والبقوليات (جدول ٣-٢٤). ويمكن الاسترشاد بهذا الجدول فى تقدير احتياجات محاصيل الخضر الأخرى التى لم يرد ذكرها فى الجدول.

جدول (٣-٢٤): المعدلات العامة لتسميد محاصيل الخضر فى الأراضى التى لا يعرف محتواها من العناصر الغذائية.

مجموعة الخضر	العنصر (بالكجم / فدان)		
	النيتروجين (N)	الفوسفور (P_2O_5)	البوتاسيوم (K_2O)
البطاطس	١٠٠	١٠٠	١٠٠
الخضر الورقية: الخس- الكرنب — السبانخ	٧٥	٥٠	٧٥
الخضر الثمرية: الطماطم — القاوون — الفلفل	٥٠	٥٠	٧٥
الخضر الجذرية: البطاطا — الجزر — البنجر	٧٥	٥٠	١٢٥
البقوليات: الفاصوليا — البسلة	٢٥	٤٠	٢٥

ويعطى Ware & MaCollum (١٩٨٣) معدلات التسميد الآزوتى التى يُنصح بها لمحاصيل الخضر المختلفة فى كل من الأراضى الثقيلة والخفيفة (جدول ٣-٢٥)، واحتياجات مختلف محاصيل الخضر من عنصرى الفوسفور والبوتاسيوم عند اختلاف التربة فى محتواها من أى من هذين العنصرين (جدول ٣-٢٦).

ويمكن الحصول على مزيد من التفاصيل عن الاحتياجات السمادية من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم — لمختلف محاصيل الخضر — فى الأراضى المعدنية الفقيرة — فى جدول (٣-٢٧) (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

جدول (٣-٢٥): معدلات التسميد الآزوتى التى ينصح بها لمحاصيل الخضر المختلفة فى الأراضى الثقيلة والخفيفة.

المحصول	الاحتياجات السمادية من النيتروجين (كجم / فدان)	
	الأراضى الثقيلة	الأراضى الخفيفة
الأسبرجس	٤٠	٥٠
الفاصوليا	١٥	٢٣
البنجر	٢٥	٣٣
الكرنب	٣٠	٣٨
الجزر	٣٠	٣٨
القنبيط	٣٣	٤٠
الذرة السكرية	٢٠	٢٨
الخيار	١٠	٢٣
الباذنجان	١٥	٢٣
فجل الحصان	٢٣	٣٠
الخس	٢٣	٣٠
القاوون	١٠	١٨
البصل	٢٣	٣٠
الجزر الأبيض	٣٠	٣٨
البسلة	١٠	١٨
الفلفل	١٥	٢٣
البطاطس	٣٠	٣٨
قرع الكوسة	١٥	٢٣
القرع العسلى	٣٠	٣٨
السبانخ	٢٥	٣٠
البطاطا	١٥	٢٠
الطماطم	٣٠	٣٨
اللفت	٢٥	٢٥
البطيخ	١٠	١٨

جدول (٣-٢٦): محاصيل الخضر مقسمة إلى مجموعات حسب احتياجاتها من عنصرى الفوسفور والبوتاسيوم فى الأراضى المختلفة فى محتواها من هذين العنصرين.

العنصر	نتيجة اختبار التربة	احتياجات المحصول من العنصر (P أو K) بالكجم/ فدان			
		مجموعة (أ)	مجموعة (ب)	مجموعة (جـ)	مجموعة (د)
الفوسفور (P)	فقيرة جدا	٦٣	٥٣	٣١	١٣
	فقيرة	٥٣	٣١	١٣	٥
	متوسطة	٣٥	٩	٩	٥
	خصبة	١٨	٥	٩	٥
	خصبة جدا	٩	٥	٩	٥
البوتاسيوم (K)	فقيرة جدا	١٠٠	١٠٠	٧٦	٢٨
	فقيرة	٨٠	٨٠	٥٦	٨
	متوسطة	٥٦	٥٦	٤٨	٨
	خصة	٣٢	٣٢	٤٠	٨
	خصبة جدا	٣٢	٨	٤٠	٨
المحاصيل فى كل مجموعة		الطماطم	الأسبرجس	الجزر	الفاصوليا
		البطاطس	البصل	الجزر الأبيض	البسلة
		الفلفل	الذرة السكرية	البنجر	
		الباذنجان	السبانخ	الفجل	
		الكرنب	الخس	اللفت	
		القنبيط	البطاطا	فجل الحصان	
		البروكولى			
		الخيار			
		القاوون			
		الكوسة			
		القرع العسلى			

جدول (٣-٢٧): معدلات التسميد بالنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم لمحاصيل الخضر فى الأراضي المعدنية الفقيرة.

المحصول	الكمية (كجم / فدان)		
	N	P_2O_5	K_2O
الأسبرجس	٤٠–٥٠	٧٥–١٠٠	٧٥–١٠٠
الفاصوليا	٢٠–٢٥	٣٥–٥٠	٣٥–٥٠
البنجر	٤٠–٥٠	٧٥–١٠٠	٧٥–١٠٠
البروكولي	٤٠–٥٠	٧٥–١٠٠	٧٥–١٠٠
الكرنب	٤٠–٥٠	٧٥–١٠٠	٧٥–١٠٠
الجزر	٣٥	٧٥	٧٥
القنبيط	٤٠–٥٠	٧٥–١٠٠	٧٥–١٠٠
الكرفس	٥٠–٦٥	١٠٠–١٢٥	١٠٠–١٢٥
الخيار	٤٠–٥٠	٧٥–١٠٠	٧٥–١٠٠
الباذنجان	٤٠–٥٠	٧٥–١٠٠	٧٥–١٠٠
الهندباء	٣٠–٤٥	٦٠–٩٠	٦٠–٩٠
الخس	٣٠–٤٥	٦٠–٩٠	٦٠–٩٠
القاوون	٤٠–٥٠	٧٥–١٠٠	٧٥–١٠٠
البصل	٤٥	١٠٠	١٠٠
البسلة	٢٠–٤٠	٤٠–٧٥	٤٠–٧٥
الفلفل	٦٠	١٠٠	١٠٠
البطاطس	٨٠–٩٠	١٢٠–١٣٥	١٢٠–١٣٥
الفجل	٢٠–٢٥	٣٥–٥٠	٣٥–٥٠
السبانخ	٢٥–٤٠	٥٠–٧٥	٥٠–٧٥
الكوسة	٢٥–٤٠	٥٠–٧٥	٥٠–٧٥
الذرة السكرية	٤٥–١١٠	٩٠–١١٠	٩٠–١١٠
البطاطا	٣٥	١٠٠	١٥٠
الطماطم	٤٠–٥٠	٧٥–١٠٠	٧٥–١٠٠
اللفت	٢٠–٢٥	٣٥–٥٠	٣٥–٥٠

وقد بين Hanan وآخرون (١٩٧٨) المعدلات العامة المقترحة للتسميد بالأنواع

المختلفة من الأسمدة بالوزن لوحدة المساحة من الأرض، أو لوحدة الحجم من المحلول السمادى (جدول ٣-٢٨). ويفيد هذا الجدول فى تقدير الاحتياجات العامة من أى سماد لأية مساحة مزروعة، بداية من مستوى المناضد (البنشات) فى الصوبات إلى المزارع الكبيرة، سواء أكان التسميد بطريق التربة أم مع ماء الرى.

جدول (٣-٢٨): معدلات التسميد العامة المقترحة للأنواع المختلفة من الأسمدة.

السماد	معدل التسميد المقترح[أ]	
	بالكجم / ١٠ م٢ من سطح الأرض	بالجرام / لتر من المحلول السمادى
كبريتات الأمونيوم	٠,٢- ٠,٤	٠,٤
نترات الأمونيوم	٠,٢	٠,١
نترات الصوديوم	٠,٤	٠,٤
نترات الكالسيوم	٠,٤	٠,٤
نترات البوتاسيوم	٠,٢	٠,٣
السوبر فوسفات الأحادى	٢,٣	–
السوبر فوسفات المزدوج	٠,٦	–
كلوريد البوتاسيوم	٠,٢	٠,١
كبريتات البوتاسيوم	٠,٢	٠,٢
سماد مركب تحليله :		
٥- ١٠- ١٠	٠,٩	–
١٠- ١٠- ١٠	٠,٦	–
٢٠- ٢٠- ٢٠	٠,٣	٠,٢
سماد أزموكوت ١٤- ١٤- ١٤	٤,٥	–
كبريتات المغنيسيوم	٠,٩	٠,٥
	بالجرام / ١٠م٢ من سطح الأراض	بالمليجرام / لتر من المحلول السمادى
حمض البوريك	١٧	٢
كبريتات النحاس	٩	٢
الحديد المخلبى	٤٩	٢٧٠
كبريتات المنجنيز	٨	٧
كبريتات الزنك	٨	٦

(أ) هذه معدلات عامة، لكن قد تختلف المحاصيل المختلفة فى احتياجاتها الخاصة من العناصر الغذائية.

هذا .. ولا يختلف تسميد النباتات النامية فى الأصص عن تلك النامية فى الحقل، وتحسب معدلات التسميد / أصيص على أساس معدلات التسميد / فدان حسب المعادلة الآتية:

معدل التسميد فى الأصيص بالجرام =

معدل التسميد للفدان بالكجم × $\frac{\text{وزن تربة القصرية بالكجم}}{١٠^{٦}}$

فمثلاً فى الطماطم إذا كانت معدلات التسميد للفدان هى ٤٠٠ كجم سلفات نشادر، و٣٠٠ كجم سوبر فوسفات، و ١٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم، واحتوى الأصيص الواحد على ٥ كجم من التربة، يكون معدل التسميد لكل أصيص كالتالى:

سلفات النشادر = ٤٠٠ × $\frac{٥}{١٠^{٦}}$ = ٢ جم

السوبر فوسفات = ٣٠٠ × $\frac{٥}{١٠^{٦}}$ = ١,٥ جم

سلفات البوتاسيوم = ١٥٠ × $\frac{٥}{١٠^{٦}}$ = ٠,٧٥ جم.

احتياجات التسميد بالبورون

يتوفر البورون للنباتات إما فى صورة مركبات متعادلة أو أنيونات، وكلاهما يفقد بسهولة مع ماء الصرف، وهو ما يزداد فى الأراضى الرملية والخفيفة بصورة عامة. ولذا .. تزداد الحاجة إلى التسميد سنويًا فى تلك الأراضى، بينما تقل الحاجة للتسميد فى الأراضى الأثقل.

يقل تيسر البورون فى الأراضى القلوية، وتزداد المشكلة مع ازدياد الـ pH. وبالنسبة لمحاصيل الخضر التى تستجيب للتسميد بالبورون، فإن كمية البورون التى يتعين التسميد بها بالكيلوجرام للفدان (B) يمكن حسابها بالمعادلة التالية:

$$B = [0.35 + (0.5\times pH)] \times 0.454$$

(عن Warncke وآخرين ١٩٩٢).

احتياجات التسميد بالمنجنيز

تتعين المعاملة بالمنجنيز في حقول الخضر التي تستجيب للتسميد بالعنصر. ونظرًا لأن تيسر العنصر ينخفض في التربة بارتفاع الـ pH، وبمدى تيسر العنصر في التربة؛ لذا فإن كمية العنصر التي يلزم التسميد بها بالكيلوجرام للفدان (Mn) تتأثر بهذين العاملين، ويمكن حسابها بالمعادلة التالية:

$$Mn = [-36 + (6.2 \times pH) - (0.35 \times ST)] \times 0.454$$

حيث إن ST: محتوى المنجنيز في التربة بالجزء في المليون (Warncke وآخرون ١٩٩٢).

احتياجات التسميد بالزنك

تزداد الحاجة للتسميد بالزنك في الأراضي القلوية ومع ارتفاع الـ pH، وتنخفض بتوفر العنصر في التربة. ويمكن حساب احتياجات التسميد بالعنصر بالكيلوجرام للفدان (Zn) بالمعادلة التالية:

$$Zn = [-32 + (5.0 \times pH) - (0.4 \times ST] \times 0.454$$

حيث إن ST: محتوى الزنك في التربة بالجزء في المليون.

وإذا ما استخدم الزنك المخلبي في التسميد فإن الكميات المحسوبة أعلاه يتعين خفضها إلى الخُمس (Warncke وآخرون ١٩٩٢).

يمكن في الأراضي التي تعاني من نقص الزنك إضافته أرضيًا بمعدل ٢,٥ — ٥ كجم زنك للفدان (٧,٥– ١٥ كجم كبريتات الزنك ٣٦٪ زنك / فدان) بطريقة النثر قبل حراثة الأرض. تكفي هذه المعاملة لعلاج نقص العنصر لمدة ثلاث سنوات.

ويمكن أثناء نمو المحصول علاج نقص الزنك بالرش بمحلول ٠,٥٪ كبريتات زنك على أن يكون الرش بمعدل ١٠٠- ١٢٠ لتر للفدان.

كذلك يمكن التسميد بالزنك المخلبي لكن مع خفض الكميات المستعملة منه إلى ثُلث الكميات الموصى بها من الزنك المعدني نظرًا لزيادة كفاءته عنه بهذا القدر.

كما يفيد التسميد العضوى فى التغلب على مشكلة نقص الزنك إذا استعمل سماد مثل سبلة الماشية بمعدل ١٥- ٢٠ طن للفدان (Follett & Westfall ٢٠٠٦).

طرق التسميد

طرق إضافة الأسمدة الجافة

تضاف الأسمدة الجافة إلى التربة بعدة طرق كما يلي:

١- نثر الأسمدة على سطح التربة قبل الحرث.

٢- نثر الأسمدة على سطح التربة بعد الحرث، ثم خلطها بالتربة بالتسوية والتزحيف.

٣- نثر الأسمدة على سطح التربة بعد الإنبات فى حالة الزراعة فى أحواض.

٤- إضافة الأسمدة (سرًا) فى بطن خط الزراعة.

٥- إضافة الأسمدة "تكبيشًا" إلى جانب النباتات فى خط الزراعة.

٦- إضافة الأسمدة سرا فى خنادق إلى جانب خط الزراعة بنحو ٥- ٨ سم، وأسفل مستوى البذور بنحو ٥- ٨ سم، ويجرى ذلك باستخدام الآلات.

ومن الأهمية بمكان عدم إضافة السماد الجاف مختلطًا بالبذور، أو قريبًا جدًا منها؛ لأن ذلك يؤدى إلى ضعف الإنبات، وضعف نمو البادرات، ونقص المحصول والعادة هى إضافة السماد الجاف أسفل مستوى البذور بنحو ٥- ٧,٥ سم، أو تحتها مباشرة، أو إلى أحد الجانبين بنحو ٥- ٧ سم.

التسميد بالرش

يختلف التسميد بالرش عن التسميد مع ماء الرى بالرش. ففى الحالة الأولى يكون

الهدف هو إضافة السماد إلى الأسطح الورقية، بينما يكون الهدف فى الحالة الثانية هو إيصال السماد إلى التربة مع ماء الرى بالرش.

ولا يفيد التسميد بالرش إلا فى حالة العناصر الدقيقة فقط؛ حيث يمكن للأوراق أن تحصل على حاجة النبات من العناصر الدقيقة بهذه الطريقة. هذا.. ولا يمكن للأوراق امتصاص كل حاجة النبات من العناصر الضرورية الأخرى — وخاصة النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم — لاحتياج النبات إلى كميات كبيرة من هذه العناصر، بالإضافة إلى استحالة تركيز المحلول السمادى فى محلول الرش عن حد معين، وإلاّ احترقت أوراق النبات. ويعنى ذلك توزيع الكمية المطلوبة من السماد على عدد كبير من الرشات قد يصل إلى ١٥– ٢٠ رشة؛ مما يجعل الطريقة غير اقتصادية. وفى الحالات التى ذكرت فيها استفادة النباتات من الرش باليوريا يُرجح أن تكون الاستفادة قد حدثت عن طريق الجذور بعد سقوط محلول اليوريا على التربة (Thompson & Kelly ١٩٥٧).

وعليه .. فلا ينصح بالتسميد بهذه الطريقة إلا بالنسبة للعناصر الدقيقة والعناصر المغذية الكبرى غير الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم. أما بالنسبة لهذه العناصر الأولية، فلا تتبع معها طريقة التسميد بالرش إلا لسد نقص طارئ فى أىٍ منها، إلى أن يمكن إجراء التسميد بالطرق الأخرى. وفى هذه الحالة تعتبر اليوريا أفضل مصادر الآزوت، وفوسفات ثنائى الأمونيوم أفضل مصادر الفوسفور، وكبريتات البوتاسيوم أفضل مصادر البوتاسيوم. كما يمكن الرش بالأسمدة السائلة، أو بالأسمدة المركبة السريعة الذوبان.

العوامل المؤثرة فى فاعلية التسميد بالرش

تتأثر فاعلية التسميد بالرش بعدة عوامل كما يلى (عن المركز القومى للبحوث ١٩٩٧):

١– عوامل خاصة بالنبات نفسه، مثل:

الصنف	عمر النبات	عمر الورقة
وجود طبقة شمعية على الأوراق	وجود شعيرات على الأوراق	عدد الثغور
الحالة الغذائية	خواص سطح الورقة السفلى والعلوى	

٢- عوامل بيئية، مثل:

درجة الحرارة	شدة الإضاءة ونوعية الضوء	الفترة الضوئية
الرياح	الرطوبة النسبية	جفاف التربة
وقت الرش من اليوم	الجهد الأسموزى	الإجهاد الغذائى

٣- عوامل خاصة بمحلول الرش، مثل:

السماد المستخدم	نوعية الماء	التركيز
الـ pH	المواد الحاملة	المادة الناشرة
معدل الاستخدام	طريقة الاستخدام	

معدل امتصاص العناصر وانتقالها فى النبات عند التسميد بالرش

تتباين العناصر فى سرعة امتصاصها عند إضافتها رشًا، كما يلى:

١- سريعة وتشمل نيتروجين اليوريا والبوتاسيوم والزنك.

٢- متوسطة وتشمل الكالسيوم والكبريتات والمنجنيز والبورون.

٣- بطئية وتشمل المغنيسيوم والنحاس والحديد والموليبدنم.

وتتباين العناصر — كذلك — فى سرعة تحركها فى النبات بعد امتصاصها، كما يلى:

١- متحركة وتشمل نيتروجين اليوريا والبوتاسيوم والفوسفور والكبريتات.

٢- متحركة جزئيًا وتشمل الزنك والنحاس والمنجنيز والبورون والموليبدنم.

٣- غير متحركة وتشمل الحديد والكالسيوم والمغنيسيوم (Kant & Kafkafi ٢٠٠٧).

مضار الاعتماد على اليوريا كمصدر وحيد للنيتروجين عند التسميد بالرش

قد يكون تكرار الرش الورقى باليوريا سامًا للنباتات حتى ولو كان ذلك بكميات

معتدلة. وتكون النباتات التى تعتمد على اليوريا كمصدر وحيد للنيتروجين أضعف نموًا عن نظيراتها التى تسمد بنترات الأمونيوم. ومن الأسباب المحتملة لسمية اليوريا إطلاقها لأيون الأمونيوم NH_4^+ أثناء استفادة النبات منها. وتعد التركيزات العالية من أيون الأمونيوم سامة لأنها تشتت تدرج الـ pH عبر الأغشية البيولوجية؛ الأمر الذى يكون ضرورى للعمليات الأيضية مثل البناء الضوئى والتنفس. هذا .. إلاّ أن المعاملة بالـ phenylphosphorodiamidate — الذى يثبط نشاط إنزيم اليوريز urease — أظهرت أن السمية التى يُحدثها التسميد باليوريا — فقط — مردها إلى اليوريا — ذاتها — وليس إلى أيون الأمونيوم.

وقد أدت إضافة النيكل للمحلول المغذى للطماطم على صورة $NiCl_2$ بتركيز ١,٠ ميكرومول إلى تحسين نمو بادرات الطماطم التى اعتمدت على الرش الورقى باليوريا كمصدر رئيسى للنيتروجين، وقد صاحب ذلك زيادة انتقال اليوريا من النموات الخضرية إلى الجذور، بينما لم يكن للنيكل أى تأثير على نشاط إنزيم اليوريز urease (Nicouland & Bloom ١٩٩٨).

تحرك الكالسيوم والفوسفور فى النبات عندما تكون إضافتهما رشًا

بينما لا يتحرك الكالسيوم المضاف بطريقة الرش الورقى إلاّ إلى قمة الأوراق التى يصلها محلول الرش، ولا يخرج منها إلى أى جزء آخر من النبات، فإن الفوسفور الذى يصل لأى جزء من النبات يصل إلى كافة الأجزاء النباتية الأخرى، بما فى ذلك الجذور والقمة النامية. وفى المقابل.. يزداد امتصاص وانتقال الكالسيوم المضاف أرضًا إلى الأجزاء العليا من النبات عن امتصاص وانتقال الفوسفور المضاف رشًا (Sato وآخرون ١٩٩٨).

ويلاحظ أن الفوسفور يمتص بسرعة عندما يكون متحدًا مع أيون الأمونيوم، وموجودًا معه. ويساعد وجود اليوريا على زيادة الامتصاص. ويتأثر امتصاص الفوسفور — بشدة — بدرجة الحرارة؛ حيث نجد أن الـ Q_{10} يزيد على ٣ فى الفوسفور، بينما لا يزيد على ٢ فى العناصر الأخرى. (Wittwer ١٩٦٩).

هـذا.. ويزيـد امتـصاص العناصـر عـن طريـق الأوراق مـع ارتفـاع درجـة الحـرارة، وانخفـاض pH محلـول الـرش عـن ٧، وفـى الأوراق الحديثـة، ومـن الـسطح الـسفلى للأوراق، ومن الأوراق غير المغطاة بطبقة شمعية سميكة.

وفى الأراضى التى يثبت فيها الفوسفور بدرجة كبيرة — سواء أكانت هذه الأراضـى حامضية (حيث يثبت الفوسـفور فـى صـورة فوسـفات الحديـد وفوسـفات الألومنيـوم) أم قلوية (حيـث يثبـت الفوسـفور فـى صـورة فوسـفات ثلاثـى الكالـسيوم) — فإنـه يوصـى (الإدارة العامة للتدريب — وزارة الزراعة ١٩٨٣) بإضافة سماد السوبر فوسفات رشا على النباتات. ويحضر محلـول الـرش بتركيـز ٤٪؛ حيـث يلـزم ٤ كجـم مـن سمـاد الـسوبر فوسفات لكل ١٠٠ لتر ماء. يترك السماد أولاً لمدة ١٢ ساعة فى كمية من الماء، ثم يُقلب بعد ذلك جيدًا، ويرشح، وينقل الراشح إلى موتور الرش، ويكمل إلى الكمية المناسبة وهى ١٠٠ لتر. وينصح بأن يكون الرش فى الصباح الباكر، أو فى آخر النهار، وأن يبـدأ بعـد شهر من إنبات البذور أو من الشتل، ويكرر كل ١٠ — ١٥ يومًا بعد ذلك حتى الحصاد.

وبالنسبة للأسمدة الورقية يكـون الـرش بتركيـز ٠,١٥٪ فـى بدايـة حيـاة النبـات، وتزداد إلى ٠,٢٪ بعد ذلك. أما بالنسبة للمحاليل المغذيـة العـضوية (التـى تحتـوى علـى مواد مخلبية)، فيكون الرش بتركيز ٠,٠٥٪ فى بدايـة حيـاة النبـات، وتـزداد إلى ٠,١٪ بعد ذلك. وفى كلتا الحالتين يكون الرش كل ٢– ٣ أسابيع.

التسميد بالحديد بطريقة الرش

قد يؤدى رش الحديد المخلبى أو المعدنى إلى الـتخلص مـن أعـراض الإصـفرار التـى يُحدثها نقص العنصر، إلاّ أن ذلك قد لا يكون مؤثرًا فـى زيـادة المحـصول، مـا لم يبـدأ الرش فى طور البادرة، ويكرر كل ١٠– ١٥ يومًا. ويستخدم فى الرش — عادة — محلول ٢٪ كبريتات حديدوز (٢٠٪ حديـد) مـع اسـتعمال ٦٠ — ١٢٠ لـتر مـن محلـول الـرش للفدان. ويفيد — كثيرًا — استخدام مادة ناشرة فى زيادة كفـاءة عمليـة التـسميد بـالرش. أمـا إذا اسـتخدم الحديـد المخلبـى فإنـه يـتعين خفـض التركيـز المـستعمل إلى ١٪ فقـط (Follett & Westfall ٢٠٠٦).

التسميد بالبورون بطريقة الرش

البورون ليس من العناصر المتحركة في النبات؛ ولذا .. يتعين توفيره للنبات في جميع مراحل نموه. وتفيد المعاملة بالرش في تصحيح وضع نقص العنصر في الأنسجة التي يصلها محلول الرش، ولكن تأثيرها يكون محدودًا على النموات الجديدة. هذا .. على الرغم من حدوث انتقال محدود لقدر قليل من البورون في بعض الأنواع النباتية (Brown & Hu ١٩٩٨).

التسميد بالموليبدنم بطريقة الرش

تزداد الحاجة إلى التسميد بالموليبدنم في الأراضي التي ينخفض فيها الـ pH عن ٥,٥، تلك التي يزداد محتواها من الحديد.

ويمكن مدّ النباتات بحاجتها من العنصر بالرش بموليبدات الصوديوم بمعدل ٥٦,٥ جم للفدان في مالا يقل عن ١٢٠ لتر ماء، مع استعمال مادة ناشرة. ومع المحاصيل الحساسة لنقص العنصر يجب تكرار الرش كل أسبوعين (Warncke وآخرون ١٩٩٢).

التسميد مع ماء الري بالغمر

يتم في هذه الطريقة إيصال السماد إلى النباتات مع ماء الري، وتستخدم لذلك الأسمدة السائلة أو الأسمدة القابلة للذوبان في الماء. ويتم — عادة — تحضير محلول مركز من السماد يتم إدخاله بطرق خاصة مع ماء الري. وفي الحالات التي لا تتطلب كميات كبيرة من ماء الري — كما في ري المشاتل — يمكن إذابة الكمية المطلوبة من السماد في كمية الماء المزمع استخدامها في الري.

ومن أكبر عيوب التسميد بهذه الطريقة عدم تجانس توزيع السماد على المساحة التي يُراد ريها؛ حيث تصل كمية من السماد إلى التربة عند بداية قنوات الري أكبر من الكمية التي تصل عند نهايتها. وتجب معرفة المدة التي تستغرقها عملية الري بدقة؛ حتى يمكن توزيع السماد بصورة متجانسة خلال عملية الري كلها. ومن مشاكل هذه الطريقة في التسميد أيضًا اختلاف الأراضي كثيرًا في نفاذيتها لماء الري، واختلاف نفس الأرض في درجة نفاذيتها في الأوقات المختلفة.

ويمكن تنقيط محاليل السماد فى ماء الرى مباشرة. وقد تستعمل أجهزة خاصة لإضافة الكميات اللازمة من الأسمدة الصلبة إلى ماء الرى؛ حيث تذوب أثناء جريان الماء.

وتحسب كمية محلول السماد السائل التى تجب إضافتها إلى ماء الرى فى زمن محدد كالتالى:

كمية محلول السماد باللتر / ساعة =

$$\frac{\text{عدد الأفدنة التى تروى / ساعة} \times \text{كمية السماد المراد استعمالها بالكجم / فدان}}{\text{كمية السماد فى محلول السماد بالكجم / لتر}}$$

أو تحسب كمية السماد السائل أو الصلب التى تضاف إلى ماء الرى فى زمن محدد كالتالى:

كمية السماد بالكجم أو باللتر / ساعة =

$$\frac{\text{عدد الأفدنة التى تروى} \times \text{كمية السماد الصلب بالكجم أو السائل باللتر / فدان}}{\text{المدة التى يستغرقها رى الحقل بالساعة}}$$

ويمكن الاستعانة بجدول (٣-٢٩) فى تحديد معدل تدفق السماد السائل فى ماء الرى إذا عُلِمَ معدل التسميد اللازم باللتر فى الساعة.

أما جدول (٣-٣٠) فيُبين كميات الأسمدة المختلفة بالجرام اللازم إذابتها فى ١٠٠ لتر ماء لإعطاء محاليل سمادية يحتوى كل منها على ١٠٠ جزء فى المليون نيتروجينًا، و١٠٠ جزء فى المليون بوتاسيوم، ويمكن استخدامها فى رى الشتلات.

ويتم تحضير المحاليل المغذية بالتركيزات المطلوبة — حسب الحاجة — باستخدام المعادلات التالية:

جدول (٣-٢٩): معدل تدفق السماد السائل فى ماء الرى إذا عُلِمَ معدل التسميد اللازم باللتر فى الساعة.

معدل التسميد المطلوب (لتر / ساعة)	معدل تدفق السماد معبرًا عنه بعدد الثوانى اللازمة لملء وعاء سعته ٢٥٠ مل
٢	٤٥٠
٤	٢٢٥
٦	١٥٠
٨	١١٢
١٠	٩٠
١٢	٧٥
١٦	٥٦
٢٠	٤٥
٢٥	٣٦
٣٠	٣٠
٤٠	٢٢
٥٠	١٨
٦٠	١٥
٧٥	١٢
١٠٠	٩

تركيز العنصر المغذى بالجزء فى المليون

= (وزن السماد بالجرام × النسبة المئوية للعنصر المغذى فى السماد × ١٠) / نسبة التخفيف.

فمثلاً .. إذا خففت ١٥٠ جم من نترات الأمونيوم فى المحلول السمادى المركز (القياسى) بمقدار ١٥٠ جزءًا من الماء، فإن تركيز المحلول المغذى بالجزء فى المليون يصبح:

(١٥٠ (جم) × ٣٥ (٪) × ١٠)/ ٢٥٠ (التخفيف) = ٢١٠ أجزاء فى المليون.

جدول (٣-٣٠): كميات الأسمدة اللازمة لتحضير محاليل مغذية لرى الشتلات (يحتوى كل منها على ١٠٠ جزء فى المليون من كل من النيتروجين والبوتاسيوم).

السماد	الكمية بالجرام لكل ١٠٠ لتر ماء
١- نترات الأمونيوم	٢٠
نترات البوتاسيوم	٣٠
٢- نترات الصوديوم	٣٥
نترات البوتاسيوم	٣٠
٣- نترات الكالسيوم	٣٥
نترات البوتاسيوم	٣٠
٤- اليوريا	١٥
نترات البوتاسيوم	٣٠
٥- سماد مركب ١٢- ٤- ٨	٦٠
نترات البوتاسيوم	١٥
٦- سماد مركب ١٢-١٢-١٢	٧٥
٧- سماد مركب ١٥- صفر - ١٥	٦٠
أو اية نسب أخرى من الفوسفور	

وبالعكس.. فإن عدد جرامات السماد التى تلزم لكل لتر من المحلول السمادى القياسى.

= (تركيز العنصر السمادى بالجزء فى المليون × التخفيف) / (نسبة العنصر فى السماد × ١٠).

فمثلاً.. إذا كان تركيز النيتروجين فى المحلول المغذى ٢٥٠ جزءًا فى المليون، وكان تخفيف السماد القياسى بنسبة ١ : ٢٠٠ .. فإن كمية سلفات الأمونيوم التى تجب إضافتها لكل لتر من الماء لعمل محلول سمادى قياسى تصبح:

(٢٥٠ (جزءًا فى المليون) × ٢٠٠ (التخفيف)) / (٢١ (٪) × ١٠)

= ٢٣٨ جم / لتر من المحلول السمادى القياسى (عن Boatfield & Hamilton ١٩٩٠).

وفى المساحات الصغيرة — كما فى الزراعات المحمية والحدائق المنزلية — يمكن التأكد من وجود السماد فى مياه الرى بإضافة صبغات خاصة إلى المحلول السمادى؛ مثل الصبغة الزرقاء Fertilizer Dye التى يحضر محلولها المركز بتركيز جرام واحد منها فى اللتر، ثم يستخدم المحلول المركز مع ماء الرى بنسبة ١ : ١٠٠.

التسميد مع ماء الرى بالتنقيط

يعتبر التسميد مع ماء الرى بالتنقيط من أبسط وأنجح طرق التسميد؛ لأن كمية الماء المستخدمة فى الرى تكون قليلة نسبيًا؛ الأمر الذى يمكن معه إذابة السماد فى كل كمية الماء المستخدمة فى الرى. كما أن السماد يكون ميسرًا بالقرب من جذور النباتات، ولا يفقد منه شىء يذكر بالرشح. وتفيد هذه الطريقة فى التسميد بصفة خاصة فى الأراضى التى تناسبها طريقة الرى بالتنقيط.

وقد أدى تطوير الرى بالتنقيط فى ١٩٦١ بواسطة كل من R. Chapin فى نيويورك، و V. Hansen فى الدانمرك، وB. Blass فى إسرائيل إلى فتح الطريق إلى أوسع التقدمات فى إدارة التسميد فى محاصيل الخضر. وقد شكلت الدراسات المبكرة فى هذا الشأن فى كل من إسرائيل وفلوريدا وكاليفورنيا خلال سبعينيات القرن العشرين أساس تكنولوجيا الرى بالتنقيط والرسمدة (عن Hochmuth ٢٠٠٣).

كيفية إدخال (حقن) الأسمدة فى مياه الرى

يتم إدخال الأسمدة مع مياه الرى؛ وذلك بحقن محلول سمادى مركز فى ماء الرى بنسبٍ معينة، أو بإذابة السماد اللازم كله فى كمية من الماء تكفى لرى المساحة المطلوبة، وتستخدم فى الرى مباشرة.

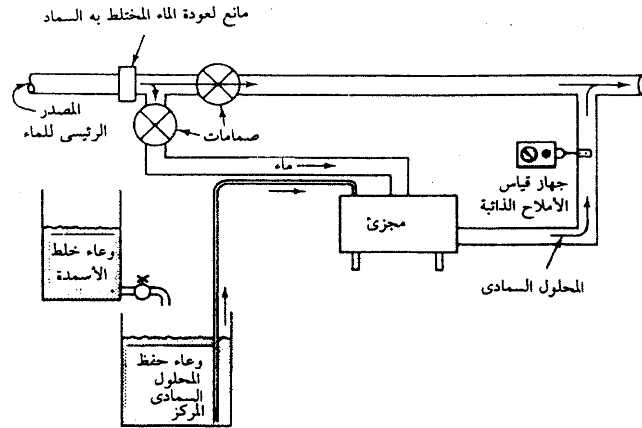
فى حالة استعمال المحاليل المركزة من الأسمدة يتم أولاً خلط الأسمدة فى خزانات خاصة، ثم ينقل منها المحلول السمادى المركز الخالى من الشوائب والرواسب إلى خزان آخر يسمى "خزان المحلول السمادى". يتصل هذا الخزان بجهاز خاص يسمى "حاقن injector" أو "مجزئ proportioner" يقوم بخلط كميات محدودة من المحلول السمادى المركز والماء معًا (شكل ٣-٦). ويمر ماء الرى المخلوط به السماد بعد ذلك على جهاز يقيس مقدار الزيادة فى درجة التوصيل الكهربائى للماء التى أحدثتها الأملاح السمادية. وتتراوح درجة التوصيل الكهربائى لماء الرى المخلوط به السماد عادة بين ١,٤ و٢,٨ مللى موز / سم فى درجة حرارة ٢٥°م.

كذلك يركب صمام بين مصدر الماء المستخدم فى الرى وأنبوب ماء الرى المخلوط به السماد؛ ليمنع عودة الماء إلى أنابيب المياه الرئيسية، وهو الأمر الذى قد يحدث فى حالة تولد ضغط سالب (شكل ٣-٧). ومن الطبيعى أن يكون اختلاط الأسمدة بمياه الشرب أمر غير مرغوب فيه؛ نظرًا لأن بعضها يعتبر سامًّا للإنسان، كأملاح النترات مثلاً (Nelson ١٩٨٥).

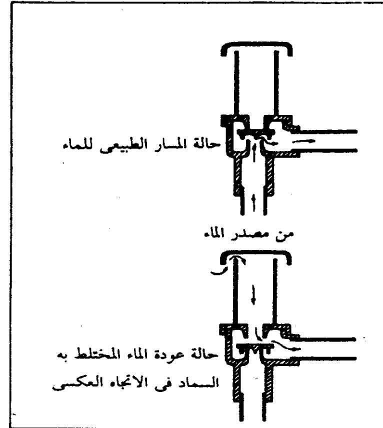
يعتمد عمل الحاقن أو المجزئ prrportioner على خلط نسبة ثابتة من المحلول السمادى المركز مع ماء الرى (شكل ٣-٨)؛ فإذا خلط لتر من محلول السماد المركز مع ٩٩ لترًا من الماء لإنتاج ١٠٠ لتر من محلول السماد المخفف، فإن نسبة التخفيف تكون ١ : ١٠٠. وأكثر نسب التخفيف استخدامًا هى: ١ : ١٠٠ أو ١ : ٢٠٠، ونادرًا ما تستخدم نسبة تخفيف ١: ١٠٠٠؛ نظرًا لأن المحلول السمادى يجب أن يكون فى هذه الحالة شديد التركيز؛ الأمر الذى قد لا يكون ممكنًا مع بعض الأسمدة. كما يجب اختيار نسبة التخفيف التى تتناسب مع كمية الماء المستخدمة فى كل رية لمساحة معينة.

ويجب اختبار نسبة التخفيف على فترات للتأكد من سلامة عمل المجزئ؛ وذلك بقياس درجة التوصيل الكهربائى، ومقارنة القراءة بقراءة محلول سمادى محضر بنفس التركيز، أو بجمع كمية من المحلول السمادى المخفف، وتحديد كمية المحلول السمادى المركز التى استنفذت فى تحضيرها، ومقارنة النسبة.

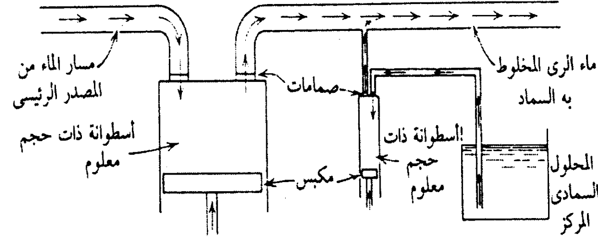
وتشتمل معظم الأسمدة القابلة للذوبان المستخدمة مع ماء الرى على كميات صغيرة من كل العناصر الصغرى، وتضاف إليها صبغة تغير لون الماء المخلوط به السماد، وهو الأمر الذى يفيد فى حالة توقف المجزئ عن العمل، أو عند نفاذ المحلول السمادى المركز.



شكل (٣-٦): طريقة إدخال الأسمدة فى ماء الرى بواسطة المجزئ.

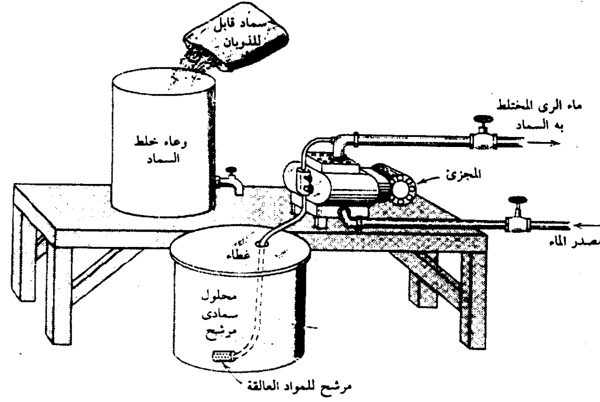


شكل (٣-٧): طريقة عمل الصمام المانع لرجوع الماء المختلط بالسماد إلى مواسير المياه الرئيسية.



شكل (٣-٨): طريقة عمل الحاقن injector أو المجزئ prportioner الذى يخلط المحلول السمادى المركز مع ماء الرى بنسبة معينة.

ويلزم لتحضير المحلول السمادى المركز وعاءان من البلاستيك؛ نظرًا لأن المحاليل السمادية تتفاعل مع المعادن. يُذاب السماد فى الوعاء الأول فى ماء دافئ حرارته ٤٠°م، ثم ينقل إلى الوعاء الثانى، إما من خلال صنبور يثبت أعلى القاع بنحو ٥ سم؛ لتجنب انتقال الرواسب التى قد تؤدى إلى انسداد المنقطات أو بشابير الرش، وإما بواسطة سيفون siphon يغمر فى المحلول السمادى أعلى قاع الإناء، وتثبت على طرفه المغمور مصفاة لزيادة الحرص على عدم انتقال الرواسب (شكل ٣-٩).

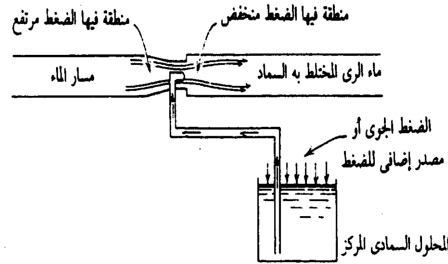


شكل (٣-٩): وعاء خلط الأسمدة، ووعاء المحلول السمادى المركز الذى يتصل بالمجزئ أو حاقن السماد فى ماء الرى.

هذا.. وقد يستعاض عن المجزئ proportioner بنظام خزان المحلول السمادى والمضخة tank and pump system، وفيه يحضر المحلول السمادى بالتخفيف اللازم مباشرة فى خزان كبير؛ حيث يضخ بعد ذلك فى نظام الرى. ويجب عند اتباع هذا النظام تأمين طريقة لِرَجِّ المحلول السمادى ومنع الترسبات. وقد يتحقق ذلك بواسطة ذراع تتحرك آليًا وتغمر فى المحلول، أو بمجرد السماح لجزء من المحلول السمادى بالعودة لخزان السماد؛ الأمر الذى يُحْدث حركة بالمحلول تكفى لمنع الترسبات السمادية.

ويجب أن يتناسب حجم الخزان مع المساحة التى يلزم تسميدها. وبرغم أن تركيز السماد يمكن زيادته بإضافة المزيد من السماد أو إنقاصه بالتخفيف بالماء، إلا أنه ينصح بتأجيل أى تغيير فى النسبة السمادية لحين استعمال كل المحلول السمادى المحضر. ويعيب طريقة التسميد هذه صعوبة تسميد محاصيل متنوعة تختلف فى احتياجاتها السمادية.

وأحيانًا قد يكفى مجرد إيصال فوهة أنبوبة رفيعة متصلة بقاع خزان المحلول السمادى بنقطة فى مسار ماء الرى يتسع عندها المسار (أنبوب ماء الرى) فجأة؛ وبالتالى يقل الضغط؛ الأمر الذى يؤدى إلى سحب المحلول السمادى واختلاطه بماء الرى (شكل ٣-١٠) (Hanan وآخرون ١٩٧٨).



شكل (٣-١٠): طريقة مبسطة لخلط المحلول السمادى المركز مع ماء الرى. وتستخدم هذه الطريقة فى تسميد المساحات الصغيرة؛ مثل المشاتل والنباتات النامية فى الأصص.

تسميد الخضر فى الأراضى الصحراوية عند اتباع نظام الرى بالتنقيط

تعد جميع الأراضى الصحراوية فقيرة — بطبيعتها — من حيث محتواها من المادة العضوية، والعناصر الغذائية التى تحتاج إليها النباتات، مع انخفاض سعتها التبادلية الكاتيونية بشدة، وارتفاع نفاذيتها للماء بدرجة كبيرة؛ لذا ... فإن نجاح زراعة الخضر فى هذه الأراضى يتوقف على التسميد الجيد الذى يجب أن يراعى فيه ما يلى:

١–الاهتمام بالتسميد العضوى لبناء التربة، وزيادة سعتها التبادلية الكاتيونية وقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة.

٢–رفع معدلات التسميد الكيميائى لتعويض النقص الحاد فى خصوبة التربة.

٣–إعطاء الأسمدة فى جرعات صغيرة على فترات متقاربة لتجنب فقدها بالرشح.

٤–الاهتمام بالتسميد بالعناصر الدقيقة إما فى صورة مخلبية — لكى لا تثبت فى التربة القلوية والجيرية — وإما رشاً على الأوراق.

ونظرًا لأن معظم زراعات الخضر فى الأراضى الصحراوية تروى بطريقة التنقيط؛ لذا ... فإننا نوجه جُلّ اهتمامنا إلى كيفية التسميد من خلال شبكة الرى بالتنقيط، مع الإشارة إلى كيفية التسميد — عند اتباع طريقتى الرى السطحى والرى بالرش — فى نهاية هذا الفصل. ونأخذ — كمثال على ذلك — برنامجًا لتسميد الطماطم؛ وهى من محاصيل الخضر المجهدة للتربة، والتى تبقى فى الأرض لمدة خمسة شهور. ويمكن الاسترشاد بهذا البرنامج فى تسميد محاصيل الخضر الأقل إجهادًا للتربة، أو التى تبقى فى الأرض لفترة أقل.

أولاً: أسمدة تضاف قبل الزراعة

يضاف السماد العضوى فى فج المحراث (موقع المصاطب فيما بعد) بمعدل ٢٠ — ٣٠ م^3 من السماد البلدى (سماد الماشية)، والأفضل إضافة ١٥ — ٢٠ م^3 سمادًا بلديًا مع نحو ٥ م^3 من سماد الكتكوت (مخلفات الدواجن).

ويضاف إلى السماد العضوى — قبل إقامة المصاطب — مخلوط من الأسمدة الكيميائية، كما يلى:

العنصر	صورة العنصر	الكمية (كجم)	السماد المفضل
النيتروجين	N	٢٠	سلفات النشادر
الفوسفور	P_2O_5	٣٠	السوبر فوسفات
البوتاسيوم	K_2O	٢٠	سلفات البوتاسيوم
المغنيسيوم	MgO	٥	سلفات المغنيسيوم
الكبريت	S	٥٠	كبريت زراعى

يكون الهدف الأساسى من إضافة الكبريت خفض pH التربة فى منطقة نمو الجذور، وليس التسميد بالكبريت؛ نظرًا لأن النبات يحصل على حاجته من عنصر الكبريت من مختلف الأسمدة السلفاتية، ومن السوبر فوسفات، والجبس الزراعى، وبعض المبيدات.

وعندما يكون الرى بطريقة التنقيط تحت السطحى يتعين إضافة كل الفوسفور والعناصر الصغرى، ونحو ١٠٪ – ٢٠٪ من كل من النيتروجين والبوتاسيوم إلى التربة قبل الزراعة، مع إضافة النيتروجين والبوتاسيوم فى شرائط عند أكتاف المصاطب، يتوقف عددها على المحصول المزمع زراعته وعدد الخطوط التى تزرع منه بكل مصطبة. تكون شرائط الأسمدة بعمق حوالى ٥ سم، وعند توفر الرطوبة الأرضية بالرى تحت السطحى بالتنقيط فإن الأسمدة المضافة تنتقل مع ماء الرى بالخاصية الشعرية (Simonne & Hochmuth ٢٠٠٣).

ثانياً: أسمدة عناصر أولية تضاف مع مياه الرى بعد الزراعة

كميات العناصر السمادية

يستمر تسميد محاصيل الخضر بعد الزراعة أو الشتل بالعناصر الأولية، وهى النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم. ويسمد الفدان الواحد (من محصول مجهد للتربة يبقى فى الأرض لمدة ٥ شهور مثل الطماطم) بنحو ١٠٠– ١٢٠ كجم نيتروجينًا (N)، و٣٠ كجم فوسفورًا (P_2O_5)، و٨٠ – ١٠٠ كجم بوتاسيوم (K_2O).

وبرغم أن النبات يحصل على كميات إضافية من النيتروجين من حامض النيتريك — الذى يستخدم فى إذابة الأملاح التى تسد النقاطات، ولإذابة سلفات البوتاسيوم (كما سيأتى بيانه)، ومن نترات الجير التى تستخدم كمصدر إضافى للكالسيوم، إلا أن الكمية الكلية المضافة بهذه الطرق لا تتجاوز حوالى ٢٠ كجم من النيتروجين للفدان.

توقيت بداية التسميد

تتوقف بداية التسميد على كل من التسميد السابق للزراعة، واستعمال المحاليل السمادية البادئة عند الشتل. ففى حالة إضافة نحو ٢٠٪ من الكميات الكلية الموصى بها من عنصرى النيتروجين والبوتاسيوم قبل الزراعة، فإنه يمكن تأخير بداية التسميد إلى ما بعد أسبوعين من الشتل. كذلك تستفيد النباتات المشتولة من الأسمدة البادئة لمدة أسبوع على الأقل. ويفضل — بصورة عامة — بداية التسميد بعد أسبوع واحد من الإنبات، أو من الشتل، حسب طريقة الزراعة.

اختيار الأسمدة المناسبة

إن أول الأمور التى يتعين مراعاتها بشأن الأسمدة التى تضاف مع مياه الرى هو درجة ذوبانها فى الماء، لاختيار السهلة الذوبان منها. ويُراجع لذلك جدول (٢-٢).

١- الأسمدة الآزوتية

تستخدم اليوريا وسلفات الأمونيوم (بنسبة ١ : ١) كمصدر للنيتروجين خلال الشهر الأول بعد الزراعة، ثم تستخدم نترات الأمونيوم منفردة، أو بالتبادل مع سلفات الأمونيوم بعد ذلك، حسب درجة الحرارة السائدة؛ حيث تنتفى الحاجة إلى النترات فى الجو الدافئ (لتحول الأمونيوم إلى نترات بسرعة فى هذه الظروف)، بينما تزيد الحاجة إليها (فى حدود ٢٥- ٥٠٪ من كمية النيتروجين الكلى المضافة) فى الجو البارد (Hochmuth ١٩٩٢ أ).

كما تحتاج محاصيل الخضر السريعة النمو وذات موسم النمو القصير إلى إضافة الأسمدة النتراتية بمعدل أكبر من الأسمدة النشادرية.

تعتبر اليوريا من الأسمدة الآزوتية السريعة الذوبان، وهى لا تتفاعل مع الماء لتكوين أيونات إلا إذا احتوى الماء على أيون اليورييز Urease. ويمكن تواجد هذا الإنـزيم فى مياه الرى إذا احتوت على كميات كبيرة من الطحالب، أو إذا كان بها نشاط بيولوجى عالٍ للإنزيم قبل ترشيحها؛ ففى حالات كهذه.. يبقى الإنزيم فى مياه الرى المرشحة، ويمكنه تحليل اليوريا إلى أيون الأمونيوم.

هذا .. إلا أن تركيز الإنزيم يكون — عادة — منخفضًا مقارنة بتركيزه فى التربة. كما أن اليوريا لا تبقى فى شبكة الرى لفترة طويلة قبل وصولها إلى التربة؛ ولذا.. فإن احتمالات تحلل اليوريا فى شبكة الرى تكون محدودة للغاية.

ويمكن خلط اليوريا مع نترات الأمونيوم أثناء التسميد، كما تتوفر تحضيرات تجارية كثيرة تحتوى على كلا السمادين معًا (عن Rolston وآخرين ١٩٨١).

هذا .. ولا يوصى بالتسميد باليوريا إذا ارتفعت حرارة الجو عن ٢٥°م.

وبرغم أنه يوصى دائمًا باستعمال المصادر الأمونيومية للنيتروجين — لأنها أرخص ثمنًا، ولا تتعرض للفقد مع ماء الصرف مثلما تتعرض المصادر النتراتية للنيتروجين — إلا أن تحقيق ذلك يتطلب سعة تبادلية كاتيونية عالية فى التربة، وهو ما لا يتوفر فى الأراضى الرملية، فضلاً على سرعة تحول أيون الأمونيوم إلى نترات فى الأراضى الدافئة كما أسلفنا. وقد أوضحت معظم الدراسات التى أجريت على تسميد عدد من محاصيل الخضر فى أراضٍ رملية بولاية فلوريدا الأمريكية عدم وجود فروق يعتد بها بين استخدام مصادر النيتروجين النتراتية والأمونيومية.

وعند استخدام الأسمدة البطيئة التيسر؛ مثل اليوريا المغطاة بالكبريت Sulfur-coated urea، وIsobutylidenediurea؛ بما يعادل نحو ٢٥٪ من الاحتياجات الكلية من النيتروجين — وذلك مع محاصيل الخضر التى تبقى لفترات طويلة فى التربة، مثل الفلفل، والطماطم، والفراولة، وكذلك المحاصيل ذات الاحتياجات العالية من النيتروجين — فإن استخدامها أدى إلى زيادة كفاءة النيتروجين المضاف، مع خفض تركيز الأملاح فى التربة (Hochmuth ١٩٩٢ ب).

هذا .. ولا يوصى باستخدام الأمونيا اللامائية anyhydrous ammonia، أو الأمونيا المائية aqua ammonia؛ لأنها تؤدى إلى رفع الـ pH وترسيب أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم فى صورة غير ذائبة. وإذا احتوت مياه الرى على كميات كبيرة من البيكربونات والكالسيوم والمغنيسيوم فإن ترسباتها قد تسدّ النقاطات.

وتعد أملاح الأمونيوم سريعة الذوبان ومناسبة للاستعمال مع مياه الرى بالتنقيط، لكن فوسفات الأمونيوم يمكن أن يترسب منها الفوسفات كفوسفات كالسيوم أو فوسفات مغنيسيوم إذا وجد أى من العنصرين (الكالسيوم والمغنيسيوم) بكثرة فى مياه الرى.

وبالمقارنة .. فإن سلفات الأمونيوم لا تُحدث أية انسدادات بالنقاطات، ولا تتسبب فى أى تغير فى pH مياه الرى.

٢- الأسمدة الفوسفاتية

يستخدم سوبر فوسفات الكالسيوم العادى أو السوبر فوسفات الثلاثى كمصدر للفوسفور فى حالة التسميد الأرضى، بينما يستخدم حامض الفوسفوريك فى حالة التسميد مع ماء الرى؛ حيث تقل فرصة تثبيت الفوسفور المضاف إليه؛ لأن حامض الفوسفوريك يعمل على خفض pH ماء الرى؛ الأمر الذى يمنع ترسيب الفوسفور حتى مع وجود الكالسيوم فى ماء الرى.

وبالرغم من أن الفوسفور المضاف مع مياه الرى يبقى فى التربة قريبًا من النقاطات — مما يعنى عدم تعرض كل المجموع الجذرى للنبات للفوسفور المضاف — إلا أن ذلك يكون كافيًا لقيام النباتات بامتصاص حاجتها من العنصر.

٣- الأسمدة البوتاسية

تستخدم سلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم. وإذا وجدت صعوبة فى إذابتها فى مياه الرى فإنه يحسن خلطها جيدًا مع حامض النيتريك التجارى المخفف بالماء بنسبة ٤ من السماد إلى ١ من الحامض التجارى. يترك المخلوط يومًا كاملاً إلى أن تترسب كل الشوائب المختلطة بسماد سلفات البوتاسيوم، ثم يؤخذ الرائق للتسميد به.

هذا.. إلا أنه يفضل استخدام أحد الأسمدة البوتاسية السائلة كمصدر للبوتاسيوم. ونظرًا إلى أن ما يوجد فى هذه الأسمدة من عنصر البوتاسيوم يكون جاهزًا لامتصاص النبات مباشرة، ولا يفقد منه شيء؛ فإنه يمكن — عند استخدامها — خفض كمية البوتاسيوم (K_2O) الموصى بها إلى النصف؛ فيستعمل منها ما يكفى لإضافة نحو ٤٠-٥٠ كجم من K_2O للفدان مع ماء الرى، بالإضافة إلى الـ ٢٠ كجم الأخرى التى تضاف فى باطن الخط قبل الزراعة.

تحرك الأسمدة والعناصر السمادية فى التربة وتفاعلاتها بها وفى مياه الرى

الأسمدة الآزوتية

عندما يكون معدل التسميد منخفضًا، فإن كاتيون الأمونيوم يدمص على سطح غرويات التربة، ولا يتحرك إلا لمسافة قصيرة من النقاط؛ ولذا .. نجد أن تركيز أيون الأمونيوم يكون عاليًا تحت النقاط مباشرة. ويتحرك أيون الأمونيوم إلى أعماق أكبر فى التربة كلما أضيفت كميات من الأيون تزيد عن قدرة التربة على ادمصاصها. ويتوقف مدى تعمق الأيون على الكمية المضافة منه وعلى السعة التبادلية الكاتيونية للتربة.

ويتحول معظم الأمونيوم — بيولوجيا — إلى نترات خلال ٢-٣ أسابيع عندما تتراوح حرارة التربة بين ٢٥°م و٣٥°م. وإذا ظل المحتوى المائى للتربة عاليًا — تحت النقاط مباشرة — لفترة طويلة فإن التحول البيولوجى للأمونيوم إلى نترات يقل بشدة؛ وذلك لحاجة هذه العملية إلى الأكسجين؛ وبذا.. يكون تكوين النترات بطيئًا.

ويمكن أن تؤدى إضافة الأسمدة الأمونيومية لسطح التربة إلى فقد جزئى للنيتروجين بسبب تطاير الأمونيا، وخاصة إذا كان pH التربة أعلى من ٧,٠.

وتعتبر اليوريا من الأسمدة السريعة الذوبان فى الماء نسبيًا، ولا تدمص قويًا بواسطة غرويات التربة؛ ولذا .. فإن تعمقها تحت مستوى النقاطات يكون أكبر من تعمق أملاح الأمونيوم. كما أن هذا التعمق يفيد فى عدم زيادة تركيزها عند سطح التربة؛ الأمر الذى يقلل من فقد الأمونيا بالتطاير. وبعد تحلل اليوريا إلى أمونيوم فإن أيونات الأمونيوم تتفاعل مع التربة بنفس الطريقة التى سبق شرحها.

وبسبب قلة ادمصاص التربة لليوريا وتحركها مع مياه الرى، فإنه يمكن التحكم فى العمق الذى تستقر فيه اليوريا — فى التربة — وذلك بالتحكم فى توقيت التسميد أثناء الرى، وفى كمية مياه الرى المضافة.

أما النترات فإنها تتحرك مع مياه الرى حتى الواجهة المبتلّة؛ حيث تتراكم فى تلك المنطقة من التربة؛ أى إن تراكمها يكون — دائمًا — فى محيط الحيز المبتل من التربة؛ وبذا.. فإن جُلَّ المجموع الجذرى يكون بعيدًا عن موقع تراكم النترات التى لا يستفيد منها سوى جزء الجذور الذى يصل إلى محيط الحيز المبتلّ من التربة.

وتجدر الإشارة إلى أن جميع صور الآزوت المستخدمة تتحول فى نهاية الأمر — فى التربة — إلى نترات، وتكون — حينئذ — عرضة للتحرك مع مياه الرى؛ ولذا.. فإن إضافة النيتروجين على دفعات كثيرة خلال موسم النمو — لمواجهة حاجة النباتات أولاً بأول — يُعد أفضل كثيرًا من إضافته مرة واحدة أو فى عدد قليل من الدفعات.

٢- الأسمدة الفوسفاتية

لا يتحرك أيون الفوسفات كثيرًا فى التربة تحت النقاط.

وإذا كانت مياه الرى غنية بكل من الكالسيوم والمغنيسيوم فإنه لا يوصى بإضافة الأسمدة الفوسفاتية مع مياه الرى بالتنقيط — أو مع مياه الرى بالرش — بسبب احتمال ترسيب الكالسيوم والمغنيسيوم فى صورة أملاح فوسفات غير ذائبة.

ولكن يمكن — باتخاذ بعض الاحتياطات — إضافة الفوسفور مع مياه الرى بالتنقيط فى صورة حامض فوسفوريك، مع تجنب ترسيب فوسفات الكالسيوم والمغنيسيوم فى صورة غير ذائبة. ويتحقق ذلك بضخ حامض الفوسفوريك بتركيز يكفى لخفض pH المحلول السمادى (الحامض مع مياه الرى) إلى القدر الذى يحافظ على بقاء تلك الأملاح ذائبة إلى أن تصل إلى التربة. هذا .. إلا أن زيادة تركيز الحامض — إلى درجة كبيرة — قد يؤدى إلى تآكل الأجزاء المعدنية من شبكة الرى.

الأسمدة البوتاسية

يدمص كاتيون البوتاسيوم على سطح غرويات التربة بمجرد وصوله إليها، ويبقى كذلك إلى أن تتشبع السعة الكاتيونية التبادلية للتربة؛ وبذا .. فإن تحرك البوتاسيوم تحت مستوى النقاطات يكون متوقعًا عند زيادة الكميات المضافة من العنصر (عن Rolston وآخرين ١٩٨١).

توزيع كميات الأسمدة على موسم النمو

توزع كميات عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم المخصصة للمحصول على النحو التالي:

١- يزداد معدل التسميد بالنيتروجين تدريجيًا إلى أن يصل إلى أقصى معدل له قبل منتصف النمو، أو عند الإزهار وبداية مرحلة الإثمار، بالنسبة للخضر الثمرية، ويبقى عند هذا المستوى المرتفع لمدة حوالى أربعة أسابيع، ثم تتناقص الكمية التي يسمد بها تدريجيا إلى أن يتوقف التسميد بالنيتروجين نهائيًا قبل الحصاد بنحو أسبوعين.

٢- يزداد معدل التسميد بالفوسفور سريعًا بعد الزراعة إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد انقضاء نحو ربع موسم النمو، ويبقى عند هذا المستوى المرتفع لمدة حوالى ستة أسابيع، ثم تتناقص الكمية المضافة تدريجيا إلى أن يتوقف التسميد بالفوسفور نهائيًا قبل انتهاء الحصاد بنحو ثلاثة أسابيع.

٣- يزداد معدل التسميد بالبوتاسيوم ببطء إلى أن يصل إلى أقصى معدل له في النصف الثانى من حياة النبات، أو مع بداية مرحلة الإثمار، ويبقى عند هذا المستوى لمدة حوالى أربعة أسابيع، ثم تتناقص الكمية المضافة منه تدريجيًا، إلى أن يتوقف التسميد بالبوتاسيوم تمامًا قبل انتهاء الحصاد بنحو أسبوع أو أسبوعين.

يتبين مما تقدم أن أعلى معدل للتسميد يكون خلال الربع الثانى من موسم النمو بالنسبة لعنصر الفوسفور، وحوالى الثلث الثانى من موسم النمو بالنسبة لعنصر

النيتروجين، ومع بداية مرحلة الإثمار أو تضخم الجزء الاقتصادى من المحصول (الجذور، أو الدرنات ... إلخ) — فى النصف الثانى من موسم النمو — بالنسبة لعنصر البوتاسيوم، وأن الانتهاء من التسميد يكون قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو ثلاثة أسابيع، وأسبوعين، وأسبوع واحد بالنسبة للعناصر الثلاثة، على التوالى.

نظام إضافة الأسمدة البسيطة والمركبة

تحسب الكمية اللازمة من جميع الأسمدة لكل أسبوع من موسم النمو، حسب مرحلة النمو النباتى. وقد تضاف كميات الأسمدة المخصصة لكل أسبوع على دفعتين أو ثلاث دفعات، ولكن يفضل أن يتم التسميد مع ماء الرى بالتنقيط ست مرات أسبوعيا، بينما يخصص اليوم السابع للرى بدون تسميد.

وتوزع الأسمدة المخصصة لكل أسبوع على أيام التسميد الستة بأحد النظم التالية:

١– تخلط جميع الأسمدة المخصصة لليوم الواحد ويسمد بها مجتمعة، وهذا هو النظام المفضل.

٢– يُخَصَصُ يومان للتسميد الآزوتى، ثم يوم للتسميد الفوسفاتى والبوتاسى... وهكذا.

٣– تخصص ثلاثة أيام منفصلة للتسميد الآزوتى، والفوسفاتى، والبوتاسى، ثم تعاد دورة التسميد... وهكذا.

ولكن يراعى عند التسميد مع ماء الرى عدم الجمع بين أىّ من أيونى الفوسفات أو الكبريتات وأيون الكالسيوم؛ لكى لا يترسبا بتفاعلهما مع الكالسيوم.

ويمكن — فى حالة التسميد مع ماء الرى بالتنقيط — استخدام الأسمدة التقليدية بدلاً من الأسمدة المركبة السائلة، أو السريعة الذوبان إذا كان استخدامها اقتصاديا، ويتوقف تركيب السماد المستخدم على مرحلة النمو النباتى؛ حيث يمكن استعمال سماد تركيبه ١٩– ٦–٦– خلال الربع الأول من حياة النبات، يستبدل به سماد تركيبه ٢٠– ٥– ١٥ خلال

الربع الثانى من موسم النمو، ثم سماد تركيبه ١٥- ٥- ٣٠ إلى ما قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو أسبوعين.

يكون استخدام هذه الأسمدة بكميات تفى بحاجة النباتات من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم. وكما سبق أن أوضحنا فإن العناصر الغذائية فى تلك الأسمدة تكون جاهزة لامتصاص النبات مباشرة، ولا يفقد منها شىء؛ ولذا.. يمكن — عند استخدامها — خفض كمية عنصرى النيتروجين والبوتاسيوم الموصى بهما إلى النصف، فيصبحان ٥٠- ٦٠ كجم نيتروجينًا، و٤٠- ٥٠ كجم K_2O للفدان بالنسبة للمحاصيل المجهدة للتربة — والتى تبقى فى الأرض مدة تتراوح بين ٥ و ٦ شهور مثل الطماطم. أما الفوسفور؛ فتبقى الكمية الموصى بها بعد الزراعة — وهى ٣٠ كجم — كما هى؛ نظرًا لأن التسميد المنفرد بالفوسفور يكون بحامض الفوسفوريك الجاهز للامتصاص السريع على أية حال.

ويكفى — عادة — نحو كيلو جرام واحد (أو لتر واحد) من تلك الأسمدة المركبة للفدان يوميًا، ثم تزداد الكمية تدريجيا إلى أن تصل إلى نحو ٣- ٤ كجم يوميًا فى منتصف موسم النمو، ثم تتناقص مرة أخرى — تدريجيًا — إلى أن تصل إلى كيلو جرام واحد للفدان يوميًا — مرة أخرى — قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو أسبوعين.

وكما فى حالة التسميد بالأسمدة التقليدية .. يلزم تخصيص يوم واحد، أو يومين أسبوعيا للرى بدون تسميد؛ بهدف خفض تركيز الأملاح فى منطقة نمو الجذور.

ونظرًا لأن غسيل الأسمدة من التربة يمكن أن يحدث عند الرى بالتنقيط؛ لذا.. فإن الأسمدة المضافة فى أية رية يجب ألا تتعرض لرى زائد، لا فى نفس الرية ولا فى الريات التالية. وتزيد فرصة احتمال غسيل الأسمدة عند زيادة فترة الرية الواحدة — فى المحاصيل التى قاربت على النضج — على ساعة ونصف الساعة.

ويبين جدول (٣-٣١) برنامج التسميد الكامل بعنصرى النيتروجين والبوتاسيوم الذى ينفذ فى ولاية فلوريدا الأمريكية مع عدد من محاصيل الخضر تحت نظام الرى بالتنقيط. وفى وجود الأغطية البلاستيكية للتربة، فى أرض رملية يفترض خلوها تمامًا من البوتاسيوم (عن Hochmuth ١٩٩٢ أ).

جدول (٣-٣١): برنامج التسميد بالنيتروجين والفوسفور المتبع فى أرض رملية بولاية فلوريدا الأمريكية لعدد من محاصيل الخضر تحت نظام الرى بالتنقيط، وفى وجود الأغطية البلاستيكية للتربة[أ].

المحصول[ب]	طريقة الزراعة[ج]	الكمية الكلية من العنصر السمادى (كجم / فدان)		تطور النمو المحصولى[د]		معدل التسميد (كجم / فدان/ يوم)	
		N	K_2O	المرحلة	الأسابيع	N	K_2O
القنبيط	الشتل	٥٦,٤	٤٧,٠	١	٣	٠,٧٠	٠,٦٠
				٢	٢	٠,٩٥	٠,٨٠
				٣	٢	١,٢٠	١,٠٠
				٤	٢	٠,٩٥	٠,٨٠
الخيار	البذور	٥٦,٤	٤٧,٠	١	١	٠,٥٠	٠,٤٠
				٢	٢	٠,٧٠	٠,٦٠
				٣	٦	٠,٩٥	٠,٨٠
				٤	١	٠,٧٠	٠,٦٠
الباذنجان	الشتل	٥٦,٤	٤٧,٠	١	٢	٠,٥٠	٠,٤٠
				٢	٢	٠,٧٠	٠,٦٠
				٣	٦	٠,٩٥	٠,٨٠
				٤	٣	٠,٧٠	٠,٦٠
الخس	الشتل	٥٦,٤	٤٧,٠	١	٢	٠,٧٠	٠,٦٠
				٢	١	٠,٩٥	٠,٨٠
				٣	٤	١,٢٠	١,٠٠
				٤	١	٠,٩٥	٠,٨٠
القاوون	الشتل	٥٦,٤	٤٧,٠	١	٢	٠,٥٠	٠,٤٠
				٢	٣	٠,٧٠	٠,٦٠
				٣	٣	٠,٩٥	٠,٨٠
				٤	٢	٠,٧٠	٠,٦٠
				٥	٢	٠,٥٠	٠,٤٠
البامية	البذور	٥٦,٤	٤٧,٠	١	٣	٠,٥٠	٠,٤٠
				٢	٢	٠,٧٠	٠,٦٠
				٣	٢	٠,٩٥	٠,٨٠
				٤	٣	٠,٧٠	٠,٦٠
				٥	٣	٠,٥٠	٠,٣٠

يتبع

تابع جدول (٣-٣١).

المحصول [ب]	طريقة الزراعة [ج]	الكمية الكلية من العنصر السمادى (كجم / فدان) N	الكمية الكلية من العنصر السمادى (كجم / فدان) K_2O	تطور النمو المحصولى [د] المرحلة	تطور النمو المحصولى [د] الأسابيع	معدل التسميد (كجم / فدان/ يوم) N	معدل التسميد (كجم / فدان/ يوم) K_2O
البصل	الشتل	٥٦,٤	٤٧,٠	١	٣	٠,٢٥	٠,٢٠
				٢	٥	٠,٥٠	٠,٤٠
				٣	٣	٠,٧٠	٠,٦٠
				٤	٢	٠,٩٥	٠,٨٠
				٥	١	٠,٧٠	٠,٦٠
				٦	١	٠,٥٠	٠,٤٠
				٧	١	صفر	صفر
الفلفل	الشتل	٧٥,٠	٦٢,٥	١	٢	٠,٥٠	٠,٤٠
				٢	٣	٠,٧٠	٠,٦٠
				٣	٧	٠,٩٥	٠,٨٠
				٤	١	٠,٧٠	٠,٦٠
				٥	١	٠,٥٠	٠,٤٠
القرع العسلى	البذور	٥٦,٤	٦٢,٥	١	٢	٠,٥٠	٠٤٠
				٢	٢	٠,٧٠	٠,٦٠
				٣	٤	٠,٩٥	٠,٨٠
				٤	٢	٠,٧٠	٠,٦٠
				٥	١	٠,٥٠	٠,٤٠
الطماطم	الشتل	٧٥,٢	٦٢,٥	١	٢	٠,٥٠	٠,٤٠
				٢	٣	٠,٧٠	٠,٦٠
				٣	٧	٠,٩٥	٠,٨٠
				٤	١	٠,٧٠	٠,٦٠
				٥	١	٠,٥٠	٠,٤٠

يتبع

تابع جدول (٣-٣١).

المحصول (ب)	طريقة الزراعة (ج)	الكمية الكلية من العنصر السمادى N	الكمية الكلية من العنصر السمادى K_2O	تطور النمو المحصولى (د) المرحلة	تطور النمو المحصولى (د) الأسابيع	معدل التسميد (كجم / فدان/ يوم) N	معدل التسميد (كجم / فدان/ يوم) K_2O
الفراولة	الشتل	٨٥,٠	٧١,٠	١	٢	٠,٢٥	٠,٢٠
				٢	٢	٠,٧٠	٠,٦٠
				٣	٢٤	٠,٥٠	٠,٤٠
الكوسة	البذرة	٥٦,٤	٤٧,٠	١	٢	٠,٥٠	٠,٤٠
				٢	٢	٠,٧٠	٠,٦٠
				٣	٢	٠,٩٥	٠,٨٠
				٤	٥	٠,٧٠	٠,٦٠
				٥	١	٠,٥٠	٠,٤٠
البطيخ	البذرة	٥٦,٤	٤٧,٠	١	٤	٠,٥٠	٠,٤٠
				٢	٢	٠,٧٠	٠,٦٠
				٣	٢	٠,٩٥	٠,٨٠
				٤	٣	٠,٧٠	٠,٦٠
				٥	٢	٠,٥٠	٠,٤٠

(أ) يفترض أن التربة خالية من البوتاسيوم، ولكن يلزم تعديل كميات البوتاسيوم الموصى بها تبعًا لنتيجة تحليل التربة.

(ب) يمكن تسميد محاصيل الخضر غير المبينة فى الجدول ببرامج مماثلة للمحاصيل القريبة منها من بين تلك المبينة فى الجدول.

(ج) يلاحظ أن الزراعة بالشتل تُقصِّر موسم النمو بنحو أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع مقارنة بالزراعة بالبذور مباشرة. يؤخذ ذلك فى الحسبان عند اتباع طرق الزراعة المغايرة للطرق المذكورة فى الجدول.

(د) يراعى فى حالة زيادة موسم النمو عن الحدود المبينة إعادة توزيع عدد الأسابيع على مختلف مراحل النمو — بنفس النسبة — مع إعطاء كل مرحلة نفس معدلات التسميد الأسبوعية الموصى بها. علمًا بأن ذلك يترتب عليه تغيرات فى كميات الأسمدة الكلية الموصى بها للفدان. وإن كانت الزيادة فى موسم النمو قصيرة.. يكتفى باستمرار برنامج التسميد الموصى به لمرحلة النمو الأخيرة كما هو. إلا أن زيادة طول موسم النمو — بسبب انخفاض درجة الحرارة — يجب ألا يترتب عليه أية زيادة فى كميات الأسمدة الموصى بها للفدان؛ حيث توزع الكميات الموصى بها — بمعدلات أقل — على امتداد موسم النمو الطويل.

وتجدر الإشارة إلى أن كميات الأسمدة الموصى بها فى هذا الفصل تقترب كثيرًا من كميات الأسمدة الموصى بها فى جدول (٣-٣١)، وذلك عند استخدام الأسمدة السائلة أو الأسمدة المركبة السريعة الذوبان. أما عند استخدام الأسمدة التجارية البسيطة كمصادر للنيتروجين والبوتاسيوم، فإن كميات الأسمدة التى يستعملها منتجو الخضر فى الأراضى الصحراوية فى مصر بالفعل تزيد كثيرًا عما هو مذكور فى جدول (٣-٣١).

وكما هو الحال فى مصر.. فإن نفس الأمر يتكرر فى الأراضى الرملية فى ولاية فلوريدا الأمريكية؛ حيث يذكر Hochmuth (١٩٩٢ ب) أن المنتجين يسمدون الطماطم بنحو ١٢٦ كجم من النيتروجين للفدان، برغم أن الكمية الموصى بها هى ٧٥,٢ كجم للفدان.

وعمومًا .. فإن كميات الأسمدة الفعلية المستخدمة تتأثر بجميع العوامل المؤثرة على طول موسم النمو؛ مثل الصنف، ودرجة الحرارة، ومدى توقف النمو خلال المواسم غير المناسبة للمحصول...إلخ. فانخفاض درجة الحرارة يؤدى إلى إطالة موسم النمو، ولكن يلزم — فى هذه الحالة — خفض معدلات التسميد خلال الفترات التى تنخفض فيها درجة الحرارة. وعند بقاء المحصول فى الأرض لفترة أطول من فترة بقائه العادية فإن ذلك يجعله فى حاجة إلى جرعات "إدامة" من النيتروجين والبوتاسيوم، تكون — عادة — من ٥٠٠- ٧٠٠ جم نيتروجينًا يوميا للفدان، مع كميات أقل من البوتاسيوم. وفى حالة الأصناف المبكرة.. تقل — عادة — كميات الأسمدة المستخدمة قليلاً عن تلك الموصى بها فى جدول (٣-٣١) (عن Hochmuth ١٩٩٢ أ).

ثالثًا: أسمدة عناصر كبرى أخرى تضاف بعد الزراعة

إن أهم العناصر الكبرى الأخرى — بخلاف عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم — هى عناصر الكبريت، والمغنيسيوم، والكالسيوم. وقد سبقت الإشارة إلى بعض مصادر هذه العناصر، سواء بالتسميد بالعنصر قبل الزراعة، أم ضمن المركبات

الأخرى — السمادية وغير السمادية — التى تعامل بها النباتات. ويمكن بيان مصادر هذه العناصر الثلاثة كما يلى:

١- الكبريت

يحصل النبات على حاجته من عنصر الكبريت — أساسًا — من الكبريت المضاف إلى التربة قبل الزراعة، ومن كبريتات الأمونيوم، وكبريتات البوتاسيوم، وسوبر فوسفات الكالسيوم، والجبس الزراعى (الذى قد يستعمل بغرض خفض pH التربة)، بالإضافة إلى ما يوجد من كبريت بالأسمدة الورقية، وبعض المبيدات. ولا توجد حاجة إلى أية إضافات أخرى من هذا العنصر.

٢- المغنيسيوم

يحصل النبات على حاجته من المغنيسيوم من سلفات المغنيسيوم التى تضاف قبل الزراعة، بالإضافة إلى ما يتوفر من العنصر فى الأسمدة المركبة، سواء تلك التى تستخدم فى مد النبات بحاجته من العناصر الأولية (النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم)، أم الأسمدة الورقية، لذا .. لا يحتاج الأمر إلى مزيد من التسميد بالمغنيسيوم إلا إذا لم يكن قد سمد المحصول بالعنصر قبل الزراعة، أو إذا ظهرت أعراض نقص المغنيسيوم، ويلزم — حينئذ — إضافة كبريتات المغنيسيوم بمعدل ٥ كجم للفدان إما رشا، وإما مع ماء الرى بالتنقيط، مع تكرار المعاملة أسبوعيًا إلى أن تختفى أعراض نقص العنصر، أو كل أسبوعين طوال موسم النمو.

٣- الكالسيوم

يحصل النبات على معظم حاجته من الكالسيوم من سوبر فوسفات الكالسيوم، ومن الجبس الزراعى الذى قد تعامل به التربة، بالإضافة إلى ما يتوفر من العنصر فى الأسمدة المركبة بنوعيها، وتزيد الحاجة إلى التسميد بالكالسيوم فى محاصيل الخضر التى تظهر عليها أعراض نقص هذا العنصر فى صورة عيوب فسيولوجية؛ مثل تعفن الطرف الزهرى (الطماطم والفلفل)، واحتراق حواف الأوراق (الكرنب والخس)، والقلب الأسود (الكرفس)، وغيرها.

ويستخدم فى مصر رائق سماد نترات الجير المصرى (عبود) لتزويد بعض محاصيل الخضر — خاصة الطماطم والفلفل — بعنصر الكالسيوم مع ماء الرى بالتنقيط، لكن يفضل استخدام سماد نترات الكالسيوم النقى عند توفره. ويشترط فى كلتا الحالتين عدم احتواء مياه الرى على كمية كبيرة من الفوسفات، أو الكبريتات.

ويكون استعمال نترات الكالسيوم بمعدل ١٠ — ١٥ كجم أسبوعيًا، ابتداء من بداية مرحلة عقد الثمار، ولمدة ستة أسابيع.

ويمكن استخدام سماد نترات الكالسيوم النقى، أو رائق نترات الجير المصرى رشًا بتركيز ١,٥– ٣ جم / لتر؛ لإمداد النبات بعنصر الكالسيوم اللازم لوقف انتشار ظاهرة تعفن الطرف الزهرى فى محصولى الطماطم والفلفل، مع الاهتمام بتوجيه محلول الرش إلى الثمار، بالإضافة إلى الأوراق.

ومتى كان هناك تسميد بالكالسيوم فإنه يتعين إضافة الأسمدة مع ماء الرى فى مجموعتين منفصلتين؛ حيث تضم إحداهما الأسمدة المحتوية على الكالسيوم، بينما تشتمل الأخرى على الأسمدة التى تحتوى على أيونى الفوسفات أو الكبريتات؛ لكى لا يترسبا بتفاعلهما مع الكالسيوم. ولنفس هذا السبب، يجب عدم التسميد — مع ماء الرى — بالأسمدة التى تحتوى على أيونى الفوسفات أو الكبريتات عند احتواء مياه الرى على تركيزات عالية من الكالسيوم.

رابعًا: أسمدة العناصر الصغرى

إن أهم العناصر الصغرى التى يلزم تسميد نباتات الخضر بها فى الأراضى الصحراوية هى: الحديد، والزنك، والمنجنيز، والنحاس.. وهى العناصر التى تثبت فى صورة غير ميسرة لامتصاص النبات فى الأراضى القلوية. يتبقى بعد ذلك من العناصر الصغرى عنصران: البورون وهو يثبت مع ارتفاع رقم pH التربة حتى ٨,٥، ثم يزداد تيسره كثيرًا بعد ذلك، والموليبدنم وهو لا يثبت فى الأراضى القلوية. ونجد — بصفة عامة — أن الأراضى الصحراوية ينخفض محتواها من العناصر الصغرى كما هو الحال بالنسبة للعناصر الكبرى.

وبناء على ما تقدم .. فإن محاصيل الخضر تستجيب للتسميد بالعناصر الصغرى فى الأراضى القلوية، ولكن عناصر الحديد، والزنك والمنجنيز والنحاس تتعرض للتثبيت إذا كانت إضافتها عن طريق التربة، أو مع ماء الرى؛ حيث تبقى بالقرب من النقاطات؛ نظرًا لأن جميع الأراضى الصحراوية قلوية؛ ولذا.. فإنه لا يفضل إضافة هذه العناصر عن طريق التربة إلا فى صورة مخلبية، كما أن ملح الكبريتات لهذه العناصر يمكن إضافته بطريقة الرش بمعدل ١- ١,٥ كجم مع ٤٠٠ لتر ماء للفدان. وإذا استخدمت الصور المخلبية لهذه العناصر رشا على الأوراق فإنها تستعمل بمعدل ٠,٢٥- ٠,٥٠ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان. أما البورون فإنه يضاف دائمًا فى صورة معدنية على صورة بوراكس؛ إما عن طريق التربة بمعدل ٥-١٠ كجم للفدان، وإما رشا على الأوراق بمعدل ١- ٢,٢٥ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

هذا .. ويمكن استبدال الأسمدة المفردة – التى سبق ذكرها – بالأسمدة المركبة وهى كثيرة جدًا. تُعطى رشة واحدة من أى من هذه الأسمدة فى المشتل قبل تقليع الشتلات بنحو أسبوع. أما فى الحقل الدائم فيبدأ الرش بعد الشتل بنحو ثلاثة أسابيع، أو بعد زراعة البذور أو الأجزاء الخضرية المستخدمة فى التكاثر بنحو شهر إلى شهر ونصف. ويستمر الرش كل ١٥ يومًا لمدة شهر أو شهرين حسب المحصول. فمثلاً.. تُعطى البطاطس رشتين، والبطيخ والبصل والفراولة ٢- ٣ رشات، والطماطم والخيار والقاوون ٣-٤ رشات. وكما أسلفنا.. تستخدم معظم الأسمدة الورقية بتركيز ٠,١٪ للبادرات الصغيرة، ويزداد التركيز إلى ٠,١٥٪ للنباتات المتقدمة فى النمو، وإلى ٠,٢٪ عند ظهور أعراض نقص العناصر. وتفيد إضافة اليوريا إلى محلول العناصر الدقيقة – بتركيز ٠,١٪ – فى زيادة معدل امتصاص النباتات من هذه العناصر.

ومتى توفرت العناصر الدقيقة فى صورة مخلبية فإنه يكون من الأسهل – والأفضل– إضافتها عن طريق مياه الرى. ويحتاج الفدان – عادة – إلى نحو كيلو جرام واحد إلى ثلاثة كيلو جرامات من أسمدة العناصر الدقيقة المخلبية تُجزّأ على دفعات متساوية كل ثلاثة أسابيع، مع بداية التسميد بها بعد الشتل بنحو أسبوعين، على ألا تزيد كمية السماد المستعملة فى كل مرة على ٣٠٠ جرام.

وتجدر الإشارة إلى أن العناصر الدقيقة (مثل الحديد والزنك والنحاس والمنجنيز) يمكن أن تتفاعل مع الأملاح التى توجد فى مياه الرى؛ وبذا.. فإنها يمكن أن تترسب فى صورة غير ذائبة لا يستفيد منها النبات، وقد تؤدى إلى انسداد النقاطات. ولكن إضافة تلك العناصر فى صورة مخلبية يمنع ترسيبها.

هذا.. ولا يكون تحرك كاتيونات العناصر الدقيقة كبيرًا فى التربة بسبب انخفاض التركيزات المستخدمة منها مع قدرة التربة على ادمصاصها (عن Rolston وآخرين ١٩٨١).

ولمزيد من التفاصيل حول التسميد مع ماء الرى .. يراجع Ben-Yosef (١٩٩٩)، كما يراجع Pennisi & Kessler (٢٠٠٣) بخصوص حاقنات الأسمدة.

تسميد الخضر فى الأراضى الصحراوية عند اتباع طريقة الرى بالغمر أو بالرش

يؤخذ فى الحسبان عند تسميد الخضر فى الأراضى الصحراوية — عند اتباع طريقتى الرى بالغمر أو بالرش — كل ما أسلفنا بيانه عن التسميد فى حالة الرى بالتنقيط، ولكن مع ملاحظة الأمور التالية:

١- زيادة التسميد السابق للزراعة من الفوسفور إلى ٤٥ كجم P_2O_5 للفدان، مع إنقاص الكمية المستخدمة منه — بعد الزراعة — إلى ١٥ كجم P_2O_5 فقط للفدان.

٢- لا يكون لمعدل ذوبان الأسمدة فى الماء أهمية تذكر عند اتباع طريقة الرى السطحى؛ ولذا .. فإن سماد سوبر فوسفات الكالسيوم يستعمل — فى هذه الحالة — بدلاً من حامض الفوسفوريك بعد الزراعة.

أما عند اتباع طريقة الرى بالرش، فإن معدل ذوبان الأسمدة يبقى أمرًا له أهميته عند اختيار الأسمدة المناسبة للاستعمال؛ ولهذا السبب فإن حامض الفوسفوريك يستعمل كمصدر للفوسفور بعد الزراعة، ولكن مع خفض الكمية المستخدمة منه إلى ما يكفى لإمداد النباتات بنحو ١٥ كجم P_2O_5 للفدان، لكى يبقى تركيز الحامض منخفضًا فى مياه الرى وفى مستوى لا يؤدى إلى تآكل الأجزاء المصنوعة من البرونز والنحاس فى جهاز الرش.

٣- تحسب الكمية اللازمة من جميع الأسمدة لكل أسبوع من موسم النمو — حسب مرحلة النمو النباتى — ثم تضاف بالكيفية التالية:

أ- فى حالة الرى السطحى:

تخلط الأسمدة معًا وتضاف تكبيشًا، أو سرًا إلى جانب النباتات، وعلى مسافة حوالى ٧ سم من قاعدتها. وتكون الإضافة بطريقة التكبيش للنباتات الصغيرة التى تكون مزروعة على مسافة لا تقل عن ٢٥ سم من بعضها. أما التسميد بطريقة السر فيكون للنباتات التى تزرع كثيفة، أو للنباتات المزروعة على مسافات واسعة بعد أن تكبر فى الحجم وتتشعب جذورها. وتكون إضافة الأسمدة على فترات أسبوعية، أو كل أسبوعين.

ب- فى حالة الرى بالرش:

تخلط الأسمدة معًا وتضاف إما نثرًا حول النباتات، وإما مع ماء الرى، ويكون ذلك بمعدل مرة واحدة أسبوعيا. ويكون التسميد مع ماء الرى بالرش بنفس الكيفية التى تتبع عند الرى بالتنقيط.

ويعيب التسميد مع ماء الرى بالرش ما يلى:

١- عدم استفادة النبات من جزء كبير من الأسمدة التى تضاف خلال النصف الأول من حياة النبات؛ نظرًا لعدم تشعب المجموع الجذرى — آنذاك — فى المسافات التى تقع بين خطوط الزراعة والتى يصل إليها السماد مع ماء الرى.

٢- فقد نسبة أخرى من السماد مع الماء المفقود بالرشح؛ نظرًا لزيادة كمية ماء الرى بالرش — عادة — عما يكفى لوصول الماء الأرضى إلى السعة الحقلية فى منطقة نمو الجذور.

ولذا .. يوصى — فى حالة الرغبة فى التسميد مع ماء الرى بالرش — أن يكون ذلك فى النصف الثانى من حياة النبات، وأن يتم إدخال السماد فى نظام الرى بالرش، بطريقة تسمح بتشغيل جهاز الرى بالرش أولاً بدون سماد لمدة تكفى لبل سطح التربة، وبلّ أوراق النبات، وإلا فُقِدَ السماد بتعمقه فى التربة مع ماء الرى. يلى ذلك إدخال السماد مع ماء

الرى لمدة تكفي لتوزيعه بطريقة متجانسة في الحقل، ويعقب ذلك الرى بالرش دون تسميد لمدة ١٥ دقيقة؛ والغرض من ذلك هو غسل السماد من على الأوراق، والتخلص من آثاره في كل جهاز الرى بالرش، كما يساعد هذا الإجراء على تحريك السماد في التربة.

٤- يمكن استخدام سماد نترات الجير (عبود) كمصدر رئيسى للتسميد بالكالسيوم والنيتروجين. يضاف السماد عن طريق التربة — تكبيشًا — إلى جانب النباتات على ٤ دفعات نصف شهرية، تبدأ عند بداية الإزهار، بمعدل ٢٥ كجم للفدان في كل مرة. وقد يفيد الرش بنترات الكالسيوم النقية (وهى سريعة الذوبان في الماء) في سد حاجة النبات السريعة إلى عنصر الكالسيوم، وهى تستخدم بمعدل ٢,٥ كجم في ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

٥- يمكن — كذلك استخدام رائق السوبر فوسفات العادى للإضافة رشا على النباتات (وليس مع ماء الرى بالرش) بتركيز ٠,٥ — ٢,٠ جم/ لتر حسب حاجة النبات، مع تكرار الرش كل أسبوعين حسب الحاجة. كما يمكن استخدام السوبر فوسفات الثلاثى بدلاً من السوبر فوسفات العادى، ولكن بنحو ثُلث التركيز المستخدم من السوبر فوسفات العادى.

٦- كما يمكن استخدام رائق سلفات البوتاسيوم بتركيز ١,٥- ٢,٥ جم/ لتر رشا على الأوراق خلال مرحلة نضج الثمار.

التسميد مع ماء الرى بالرش

من مزايا التسميد مع ماء الرى بالرش ما يلى:

١- إضافة الأسمدة بسرعة وسهولة، وبفعالية أكبر، وبتكلفة أقل مما في طرق التسميد الأخرى.

٢- يمكن جعل الأسمدة تتخلل التربة إلى العمق المطلوب؛ وذلك بالتحكم في مدة الرى.

٣- تتوزع الأسمدة بصورة أكثر تجانسًا.

٤- تكون الأسمدة ميسرة لامتصاص النبات بدرجة أكبر مما لو أُضيفت إلى التربة في صورة جافة.

٥- يمكن إضافة الأسمدة بسرعة في الأوقات الحرجة التي تظهر فيها أعراض نقص العناصر.

هذا .. ويمكن أن تضاف معظم الأسمدة إلى ماء الري بالرش إذا توفرت الشروط التالية:

١- ألا يُفْقَد العنصر السمادي بسهولة بالتبخر؛ كما هي الحال في الأمونيا ومحاليل النيتروجين المحتوية على أمونيا حرة.

٢- أن تكون سريعة الذوبان في الماء.

٣- ألا يتفاعل السماد مع جهاز الري بالرش؛ كما في حالة حامض الفوسفوريك، ونترات الأمونيوم.

ويعني ذلك إمكانية التسميد بهذه الطريقة بمعظم الأسمدة الآزوتية؛ مثل اليوريا، وكبريتات الأمونيوم، ونترات الصوديوم، ونترات الكالسيوم. وكذلك يمكن إضافة كبريتات البوتاسيوم بهذه الطريقة، ولكن يفضل قَصْرُ ذلك على الأوقات التي تظهر فيها أعراض نقص البوتاسيوم فجأة. كما يمكن إضافة معظم العناصر الأخرى التي يحتاج إليها النبات بكميات قليلة بهذه الطريقة.

أما الأسمدة الفوسفاتية، فتفضل إضافتها عن طريق التربة، بدلاً من إضافتها مع ماء الري بالرش؛ وذلك للأسباب الآتية:

١- يثبت الفوسفور — عند إضافته مع ماء الري بالرش — بدرجة أكبر منها عند إضافته في خنادق إلى جانب النباتات.

٢- معظم الأسمدة الفوسفاتية ضعيفة الذوبان في الماء؛ مما يسبب انسداد بشابير الرش.

٣– تؤدى الأسمدة الفوسفاتية إلى تآكل الأجزاء المصنوعة من البرونـز والنحـاس فـى جهاز الرش.

وعند اتباع هذه الطريقة فى التسميد يجب السماح بتشغيل جهاز الرى بـالرش أولاً بدون سماد لمدة تكفى لبل سطح التربة وبل أوراق النبات، وإلا فُقد السماد بتعمقه كـثيرًا فى التربة مع ماء الرى. يلى ذلك إدخال السماد مع ماء الرى لمدة تكفى لتوزيعه بطريقـة متجانسة فى الحقل، ويستغرق ذلك فـترة تـتراوح بـين ٣٠ و ٦٠ دقيقـة. ويعقـب ذلـك استمرار الرى بالرش بدون تسميد لـمدة ١٥ — ٣٠ دقيقـة. والغـرض مـن ذلـك هـو غـسل السماد من على الأوراق، والتخلص من آثار السماد فى المضخة والأنابيـب والرشاشـات، كما أن ذلك يساعد على تحريك السماد فى التربة (Israelsen & Hansen ١٩٦٢).

العوامل المؤثرة على طريقة وموعد تسميد محاصيل الخضر

يتأثر اختيار الطريقة والموعد المناسبين لتسميد محاصيل الخضر بالعوامل التالية:

عوامل خاصة بالنبات وطريقة الزراعة

أهم هذه العوامل ما يلى:

١- عمر النبات

فلا تستفيد النباتات من الأسمدة المضافة بطريقة النثر أو مـع مـاء الـرى بـالرش إلا بعد أن ينمو لها مجموع جذرى كثيف متشعب.

ورغم أن بعض الخضراوات — كالخس، والبطاطس، والفلفـل، والطمـاطم — يكـون أعلى معـدل لامتـصاصها لعناصـر النـيتروجين، والفوسـفور، والبوتاسـيوم خـلال الـشهر الثالث من الزراعة أو الشتل، إلا أنه تجب إضافة كميات مناسبة من هذه العناصر قريبة نسبيا من النباتات الصغيرة؛ حتى يتمكن المجموع الجـذرى المحـدود مـن امتـصاص مـا يلزم النبات من عناصر تكفى للنمو الجيد.

وفى حالة زراعة البذور آليًا، فإن الأسمدة غالبًا مـا تـضاف أيـضًا فـى نفـس وقـت

الزراعة، ويستبقى فقط جزء من السماد الآزوتى لإضافته إلى جانب النباتات فيما بعد.

وفى مصر يضاف السماد — عادة — فى الأراضى الثقيلة على ٣ دفعات: الأولى بعد الخف مباشرة، أو بعد الشتل بأسبوعين، والثانية قبل الإزهار، والثالثة أثناء العقد. وفى حالة المحاصيل القصيرة العمر — كالسبانخ، والملوخية، والجرجير، واللفت — يفضل إعطاء جزء من السماد قبل الزراعة، والجزء الباقى بعد الإنبات بحوالى أسبوع.

٢- طريقة الزراعة

يفضل فى حالة المحاصيل التى تزرع نثرًا — مثل: اللفت، والجزر، والفجل، والملوخية — أن ينثر سماد السوبر فوسفات بكمية كبيرة نسبيا قبل الحرثة الأخيرة. وبصفة عامة تستخدم طريقة التسميد بالنثر بعد الحرث، أو قبل التزحيف فى حالة المحاصيل التى تزرع نثرًا أو فى سطور ضيقة؛ كالسبانخ والجزر. ويؤدى التزحيف إلى خلط السماد على مسافة ٨ — ١٠ سم من سطح التربة.

وفى مصر تتبع طريقة التسميد بالنثر بعد الزراعة مع الخضراوات الكثيفة؛ مثل: الجزر، والسبانخ، والبنجر، والملوخية، والرجلة، والجرجير، وأحيانًا فى حوض الشتلة إذا دعت الضرورة. ويفضل فى هذه الحالة عدم استعمال الأسمدة المركزة لصعوبة توزيعها، ولما قد تحدثه من ضرر على الأوراق.

وفى حالة الزراعة فى سطور متباعدة عن بعضها تفضل إضافة السماد سرًّا فى سطور، أو بطريقة السر الجانبى side dressing. وفى الحالة الأولى يضاف السماد سرًا فى خط المحراث قبل زراعة البذور أو النبات بأسبوع أو عشرة أيام. وتسمح هذه الطريقة بوجود السماد أسفل النبات مباشرة، ولكن يُحتمل أن تضر أملاح السماد بجذور النباتات، وخاصة فى الأراضى الرملية والطمية الرملية.

أما طريقة التسميد الجانبى، ففيها يوضع السماد على طول سطور البذور أو النباتات، وعلى جانب واحد من السطر أو على الجانبين. ولقد أظهرت البحوث زيادة

محصول عديد من الخضراوات عند وضع السماد إلى جانب البذور أو أسفلها قليلاً عن وضعه أسفلها كثيرًا، ويرجع ذلك إلى توفر السماد على مسافة قصيرة من النبات أو البذرة خلال الأطوار الأولى من النمو. وتفضل طريقة السر الجانبى بوجه خاص عند استعمال كميات قليلة من السماد. وتتبع عندما تبعد سطور النباتات عن بعضها البعض بمقدار ٦٠ سم أو أكثر. ويجب ألا يضاف اكثر من ١٥٠ كجم / فدان من أى سماد ذى تحليل عالٍ بهذه الطريقة، وإلا احترقت النباتات.

وفى مصر تضاف الأسمدة بطريقة السر للنباتات التى تزرع فى سطور؛ كالبسلة، والفاصوليا، وذلك على أبعاد متفاوتة من مواقع النباتات حسب عمرها. وتغطى الأسمدة بعزق الأرض بعد التسميد.

وقد يضاف السماد فى خنادق تُعمل على بعد حوالى ١٥ سم من خط الزراعة، وبطول المصطبة، وبعمق ١٠ سم، ثم يغطى السماد.

أما النباتات المتباعدة، فيضاف إليها السماد بطريقة التكبيش؛ وذلك بوضع مقادير مناسبة من الأسمدة لكل نبات على حدة. وتتبع هذه الطريقة مع النباتات التى تُزرع متباعدة؛ مثل: البطيخ، والخرشوف، والقرع، وفى الأراضى الرملية عندما تكون كميات الأسمدة المستعملة قليلة. كما تتبع هذه الطريقة فى تسميد النباتات التى ليست شديدة التباعد؛ مثل: الخيار، والطماطم، والفلفل، وذلك فى بداية حياة النباتات قبل انتشار مجموعها الجذرى.

عوامل خاصة بالأسمدة المستعملة والعناصر السمادية المضافة

من أهم هذه العوامل ما يلى:

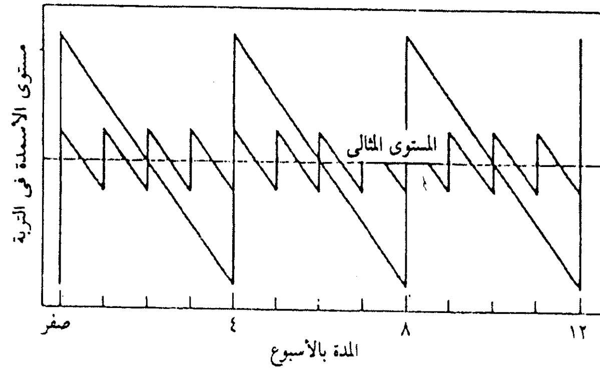
١- كمية السماد المستعملة

عندما تكون كمية السماد المراد استعمالها كبيرة، فإنه يحسن إضافة جزء منها قبل

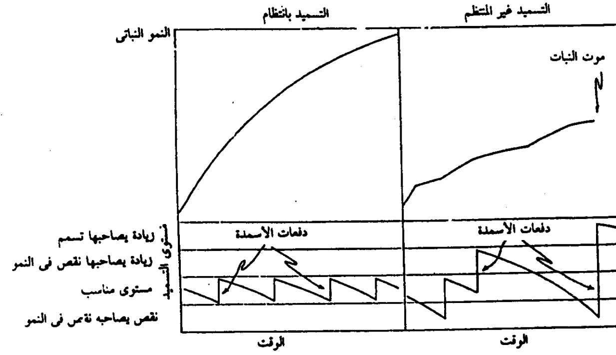
الحرث، والجزء الباقى إلى جانب النباتات. وتؤدى زيادة كمية السماد المضافة إلى جانب البذور إلى موت البذور أو تأخير الإنبات مع الإضرار بالبادرات الصغيرة. ويزداد هذا النوع من الضرر فى الأراضى الرملية والطميية الرملية، عنه فى الأراضى المتوسطة أو الثقيلة أو العضوية.

أما عندما تكون كمية السماد المستعملة قليلة، فيحسن إضافتها سرًا فى خنادق، أو على سطح التربة قريبًا من خط الزراعة، بدلاً من إضافتها نثرًا.

وبصورة عامة.. فإن إضافة الأسمدة بكميات قليلة على فترات متقاربة أفضل من إضافتها بكميات كبيرة على فترات متباعدة؛ لأنه فى الحالة الأولى يظل تركيز العنصر دائمًا فى حدود المجال المناسب للنمو النباتى، أما فى الحالة الثانية، فيتغير تركيز العنصر بين النقص الشديد والزيادة التى قد تصل إلى درجة السمية (شكل ٣-١١). وتصاحب ذلك دائمًا زيادة فى النمو النباتى فى الحالة الأولى، بالمقارنة بالحالة الثانية، ناهيك عن زيادة الأسمدة إلى درجة السمية التى تؤدى إلى موت النباتات (شكل ٣-١٢).



شكل (٣-١١): تأثير التسميد بكميات قليلة من الأسمدة على فترات متقاربة، بالمقارنة بالتسميد بكميات كبيرة على فترات متباعدة على مستوى العنصر فى التربة.



شكل (٣-١٢): تأثير التسميد المنتظم (الرسم الأيسر)، والتسميد غير المنتظم (الرسم الأيمن) على النمو النباتى. فى الحالة الأولى أضيفت الأسمدة كلما اقترب مستواها فى التربة من المستوى الذى يصاحبه ظهور أعراض نقص العناصر، وكانت الإضافة بالقدر الذى لا يضر النباتات. وفى الحالة الثانية ازداد - أحيانًا - معدل التسميد إلى الحد الذى أضر بالنباتات، ثم تأخر لفترة طويلة؛ مما تسبب فى نقص مستوى العنصر فى التربة، ثم أُضيف فى الدفعة الأخيرة بكميات كبيرة أدت إلى موت النباتات (عن Matkin وآخرين ١٩٥٧).

٢- نوع السماد المستعمل

تضاف الأسمدة العضوية الحيوانية نثرًا على سطح التربة قبل الحرث، وخاصة عند استعمال أسمدة غير متحللة؛ لأنها تتعارض مع عمليات تجهيز الأرض وإقامة الخطوط؛ ولهذا .. يجب خلط الأسمدة المضافة جيدًا بالتربة عند الحرث.

أما بالنسبة للأسمدة الآزوتية، فإنه نظرًا لسهولة فقدها، تفضل إضافتها بعد الزراعة والإنبات بطريقة النثر أو التكبيش أو السر. ويحسن تقسيم كمية السماد وإضافتها على دفعات حسب الحاجة. وعند استعمال كميات كبيرة من الأسمدة الآزوتية تجب إضافة نصف أو ثلثى الكمية المقررة وقت الزراعة، ويضاف الباقى إلى جانب النباتات عندما تكون فى أوْج نموها الخضرى.

وأفضل طريقة لإضافة السماد الفوسفاتي هي بعد الخف أو الشتل بطريقة التكبيش أو السر على جانب الخط، وعلى بعد ٥- ١٠ سم، لتقليل تلامس السماد مع حبيبات التربة إلى أقل حد ممكن.

وبالنسبة للبوتاسيوم، فتفضل إضافته على دفعات بسبب حدوث ظاهرة الاستهلاك الترفي عند توفر العنصر بكميات كبيرة، ولسهولة فقده بالرشح.

أما الأسمدة السائلة، فتجب إضافتها على عمق أكبر، وعلى مسافة من النبات أكبر مما يتبع مع الأسمدة الصلبة؛ تجنبًا لاحتراق جذور النباتات، خاصة في الأراضي الثقيلة.

٣- مدى تحرك العنصر السمادي في التربة

تتوقف سرعة وطول المسافة التي يتحركها السماد في التربة بعد إضافته على نوع السماد، وطبيعة التربة، والظروف الجوية.

فالفوسفور يتحرك ببطء شديد من نقطة إضافته؛ لأن أيون الفوسفات يعتبر عديم الحركة تقريبًا في التربة، إلا أن الفوسفور الذائب يتحرك لمسافات قصيرة. ونظرًا لأن النباتات الصغيرة يكون مجموعها الجذري محدودًا وغير متشعب في التربة؛ لذلك فهي أكثر من غيرها تعرضًا لنقص الفوسفور. ولهذا السبب .. فإنه من الضروري إضافة بعض السماد الفوسفاتي في طريق الجذور الصغيرة النامية في النباتات الحولية، ولكن مع نمو النباتات وتشعب الجذور تختفي أعراض نقص الفوسفور (Millar وآخرون ١٩٦٥).

أما أيون البوتاسيوم، فإنه يحمل شحنة موجبة؛ ولذا فإنه يدمص على غرويات التربة، ويكون قليل الحركة. ولذلك .. فإنه يضاف في خنادق لأنه يبقى في مكانه في منطقة نمو الجذور، ولا ينصح بإضافته إلى سطح التربة.

أما أملاح النيتروجين، فإنها تتحرك لأعلى ولأسفل حسب اتجاه تحرك الماء في التربة، ويكون تحرك النترات أسرع من تحرك الأمونيوم، لأن النترات لا تدمص على سطح غرويات التربة كالأمونيوم. وعمومًا .. فإنه ينصح بإضافة الأسمدة الآزوتية على دفعات.

هذا .. ويتحرك الماء الأراضى غالبًا فى اتجاه عمودى. ويتوقف تحركه على الحالة الجوية وعلى قوام التربة. فمع جفاف سطح التربة يزداد تركيز المحلول الأرضى، ويتحرك الماء لأعلى بالخاصة الشعرية، وتتحرك معه الأملاح الذائبة. وأحيانًا تترسب هذه الأملاح على سطح التربة، ثم تتحرك مع الأمطار أو الرى الغزير إلى أسفل مرة ثانية.

عوامل خاصة بالتربة والظروف البيئية

من أهم هذه العوامل ما يلى:

١- الأمطار:

فى حالة زيادة الأمطار — وبالتالى زيادة فرصة فقد الأسمدة بالرشح — تفضل إضافة الأسمدة فى خنادق.

٢- طبيعة التربة:

يكون فقد البوتاسيوم بالرشح بطيئًا فى الأراضى الثقيلة، بينما قد يكون سريعًا فى الأراضى الخفيفة؛ وعليه .. فقد تلزم إضافة بعض البوتاسيوم بطريقة السر الجانبى فى الأراضى الخفيفة.

وعندما تكون التربة ذات مقدرة عالية على تثبيت الفوسفور، تجب إضافة الأسمدة الفوسفاتية سرًا فى خنادق خاصة عندما تكون الكمية المضافة قليلة؛ حيث يكون السماد الفوسفاتى على اتصال أقل بحبيبات التربة التى تثبته، مما هى الحال عند إضافته نثرًا.

وفى حالة الأراضى العضوية، أو عند استعمال كميات كبيرة من الأسمدة العضوية تجب إضافة كل الأسمدة الآزوتية الكيميائية وقت الزراعة.

الفصل الرابع

تسميد الباذنجانيات الثمرية
(الطماطم – الفلفل – الباذنجان)

الطماطم

تعتبر الطماطم من محاصيل الخضر المجهدة للتربة، والتى تستجيب للتسميد بصورة جيدة، ولكن تختلف الأصناف فى مدى استجابتها بحسب قدرتها الإنتاجية؛ فالهجن الحديثة عالية الإنتاجية تكون أكثر استجابة للمستويات العالية من التسميد — التى تحتاج إليها لإعطاء أعلى محصول ممكن — وذلك مقارنة بالأصناف القديمة قليلة الإنتاجية.

العناصر الغذائية وأهميتها

النيتروجين

يؤدى نقص النيتروجين إلى تقزم النمو؛ وصغر مساحة الأوراق، التى تصبح متصلبة stiff، وتكتسب لونًا أخضرًا باهتًا مشوبًا بالصفرة. أما الأوراق الكبيرة فإنها تصبح صفراء اللون، وتكتسب عروقها لونًا ورديًّا، وتموت مبكرًا. كذلك يؤدى نقص العنصر إلى إصفرار البراعم الزهرية وسقوطها.

ويؤدى وقف تزويد نباتات الطماطم بالنيتروجين فى المحاليل المغذية — ولو لمدة يوم واحد — إلى إحداث نقص فى كل من معدل النمو النسبى، ومعدل البناء الضوئى، ونمو الورقة، كما ينخفض محتوى الأوراق والسيقان من النيتروجين مع استمرار غياب العنصر فى المحلول المغذى إلى ثلاثة أو سبعة أيام، بينما لا يتأثر كثيرًا محتوى الجذور من العنصر خلال تلك الفترة، كما لا يتأثر معدل نموها كنسبة مئوية من النمو البيولوجى

الكلى. هذا .. إلاّ أن النبات يستعيد محتواه من النيتروجين كما يعود معدل النمو النسبى إلى وضعه الطبيعى فى خلال أسبوع واحد من عودة توفر العنصر بالمحلول المغذى (Martinez وآخرون ٢٠٠٥).

يضاف عنصر النيتروجين على دفعات طوال مراحل النمو النباتى. ومن الضرورى أن يتوفر جزء كبير منه بالقرب من جذور النباتات خلال المرحلة الأولى من النمو؛ والتى يكون النمو الجذرى فيها محدودًا، بينما تكون النباتات بحاجة للآزوت ليكون نموها الخضرى قويًّا منذ البداية. وتستمر إضافة النيتروجين أثناء الإزهار، والعقد، ونمو الثمار حتى يصل قطر الثمار الأولى بالعنقود الأول لنحو ٢– ٣ سم. وعندها يجب إيقاف التسميد الآزوتى فى أصناف التصنيع الحديثة، بينما يستمر بالنسبة للأصناف التقليدية التى يستمر نموها الخضرى وإزهارها وإثمارها لفترة طويلة تمتد إلى بداية الحصاد. وفى حالة الزراعة فى الأراضى الرملية، فإنه ينصح باستمرار التسميد الآزوتى — بكميات صغيرة وعلى عدد أكبر من الدفعات — حتى منتصف موسم الحصاد.

ويلاحظ أن استمرار إضافة الأسمدة الآزوتية أثناء الحصاد فى أصناف التصنيع الحديثة يدفع النباتات إلى تكوين نموات خضرية جديدة تحمل أزهارًا بكثرة، إلا أن الثمار المتكونة عليها نادرًا ما تصل إلى حجم مناسب يصلح للتسويق قبل انقضاء الفترة المخصصة لمحصول الطماطم فى الدورة، وبذلك لا يكون العائد منها اقتصاديًّا. وفى حالة الحصاد الآلى.. تؤدى الإضافات المتأخرة من الآزوت إلى عدم تركيز نضج الثمار خلال فترة زمنية وجيزة؛ مما يؤثر على كفاءة عملية الحصاد.

يجب أن يكون هناك توازن بين الأسمدة النيتراتية، والأسمدة الأمونيومية المضافة، وذلك لأن الإفراط فى التسميد بالأخيرة يؤدى إلى ظهور أعراض التسمم بالأمونيا، والتى تظهر فى البداية على شكل انخفاضات طولية على سيقان النباتات لا تلبث أن تتحول إلى اللون البنى، تظهر بها نقر pits، كما يزداد عددها لدرجة أنها قد تغطى ساق النبات تمامًا. وفى الحالات الشديدة تظهر الأعراض على أعناق الأوراق أيضًا

Maynard وآخرون ١٩٦٦). وقد أدت إضافة البوتاسيوم بكميات كافية (بتركيز مولارى مكافئ لمستوى الأمونيوم) إلى وقف ظهور هذه الاعراض. وتعتبر نسبة الأمونيوم إلى البوتاسيوم (NH_4^+/K^+) فى النبات دليلاً جيدًا على مدى تمثيل الأمونيوم واحتمالات التسمم به. هذا .. وتختلف أصناف الطماطم كثيرًا فى حساسيتها للأمونيوم (Maynard وآخرون ١٩٦٨).

ويؤدى نقص البوتاسيوم مع كثرة التسميد الأمونيومى إلى زيادة نشاط الإنزيمات المسئولة عن إنتاج مركبات عديدة الأمين polyamines، مثل البُترسين putres-cene، وهى التى ربما تلعب دورًا فى ظهور أعراض التسمم.

كذلك يظهر على النباتات التى تصاب بالتسمم الأمونيومى اصفرار وتحلل بالأوراق مع اتجاه أنصالها إلى أسفل — وهى الظاهرة التى تعرف باسم Leaf Epinasty — وذلك بسبب زيادة إنتاج النبات لغاز الإيثيلين (Corey وآخرون ١٩٨٧). وتؤدى زيادة إضافة البوتاسيوم تحت هذه الظروف إلى نقص إنتاج النباتات لغاز الإيثيلين، وتوقف ظاهرة تدلى الأوراق (Barker & Corey ١٩٩٠).

كذلك يؤدى الإفراط فى التسميد بالأسمدة الأمونيومية — خلال مرحلة الإثمار — إلى الإسراع بظهور حالة تعفن الطرف الزهرى وهو عيب فسيولوجى يجعل الثمار غير صالحة للتسويق. ويرجع ذلك إلى أن وفرة أيون الأمونيوم (NH_4^+) تقلل من امتصاص النبات لأيون الكالسيوم (Ca^{++}). وكمثال للدراسات التى تؤيد ذلك ما وجده Wilcox وآخرون (١٩٧٣) من أن تسميد الطماطم فى مزرعة رملية بمحلول مغذ يحتوى على ١١٢ جزءًا فى المليون من النيتروجين الأمونيومى أدى إلى تقليل نمو النباتات، ونقص محتواها من عنصرى الكالسيوم والمغنيسيوم إلى ما دون المستوى الطبيعى، بينما أدت مناصفة كمية الآزوت المضافة بين الصورتين النيتراتية والأمونيومية إلى ارتفاع محتوى الكالسيوم، والمغنيسيوم بالنباتات إلى المستوى الطبيعى.

وأيا كانت الصور التى يضاف عليها النيتروجين فمن الضرورى عدم الإفراط فى

التسميد الآزوتى؛ لأن ذلك يؤدى إلى تكوين نموات خضرية غزيرة غير مرغوب فيها، ويزيد من إصابة الثمار ببعض العيوب الفسيولوجية، كما أنه لا يؤدى إلى زيادة المحصول بصورة اقتصادية تتناسب مع الزيادة فى كمية الآزوت المضافة.

وقد أظهرت دراسات Hartz وآخرين (١٩٩٤) فى كاليفورنيا أنه عند التسميد مع مياه الرى بالتنقيط يندر أن تستجيب الطماطم إلى زيادة معدل التسميد الآزوتى عن ٩٠ كجم/ فدان. كذلك أوضح Hochmuth (١٩٩٢) فى فلوريدا أن نباتات الطماطم لا تستجيب للتسميد بأكثر من ١٨٠ كجم نيتروجينًا/ هكتار (٧٥ كجم / فدان) عند التسميد مع مياه الرى بالتنقيط، على الرغم من أن المزارعين يسمدون بأكثر من ٣٠٠ كجم نيتروجين / هكتار (١٢٥ كجم / فدان).

كذلك أظهرت دراسات May & Gonales (١٩٩٤) فى كاليفورنيا — عند اتباع طريقة الرى بالغمر — أن نباتات الطماطم لم تستجب للتسميد بأكثر ١٦٨ كجم نيتروجينًا / هكتار (٧٠ كجم / فدان).

وكما تضار نباتات الطماطم بالتسميد النتراتى الغزير، وبالتسميد الأمونيومى غير المتوازن مع التسميد النتراتى، فإنها تضار — كذلك — لدى تعرضها ولو لكميات قليلة من النيتروجين النيتريتى NO_2-N، أو للأمونيا الحرة.

وعلى الرغم من أن تسميد نباتات الطماطم (فى فلوريدا) بمعدلات تزيد على ٨٥ كجم نيتروجين / فدان أدت إلى زيادة تركيز النيتروجين وكميته الكلية فى النموات الخضرية، إلاّ إنه لم يؤد إلى زيادة المحصول، كذلك أدى التسميد بأعلى معدل للنيتروجين (١١٣ كجم نيتروجين / فدان) إلى إحداث انخفاض كبير فى كفاءة النيتروجين المسمد به (Anderson وآخرون ١٩٩٩).

وقد وجد ارتباط معنوى بين مستوى النيتروجين النتراتى فى أعناق أوراق نباتات الطماطم والمحصول، وكذلك بين مستوى النيتروجين النتراتى بأعناق الأوراق ومعدلات

التسميد الآزوتى، وذلك بين أربعة وعشرة أسابيع بعد الشتل، ولكن لم تظهر تلك العلاقات بعد ذلك (Rhoads وآخرون ١٩٩٦).

كما وجد ارتباط جوهرى بين تقديرات النترات فى أعناق الأوراق ونتائج تحليل النيتروجين الكلى بالأوراق خلال فترة التقديرات التى دامت لثلثى مدة نمو محصول الطماطم وشملت الفترات الحرجة لتسميد المحصول، وأظهر تركيز النترات بالنسغ النباتى لأعناق الأوراق توافقًا جيدًا مع نتائج التحليل المعملى (Ferneselli وآخرون ٢٠١٤).

يرتبط تركيز النيتروجين مع محصول الطماطم خلال الفترة من الأسبوع الرابع وحتى الأسبوع العاشر بعد الشتل، ولكن هذا الارتباط يبلغ أقصاه فى الأسبوع العاشر؛ هذا مع العلم بأن تركيز النيتروجين ينخفض تدريجيًا — بصورة طبيعية — أثناء موسم النمو من ١١٠٠ إلى ٢٠٠ كجم / لتر (Locascio وآخرون ١٩٩٧).

وعندما يكون الرى بطريقة التنقيط، فإن الموعد المناسب والطريقة المثلى للتسميد بالنيتروجين تتوقف على طبيعة التربة وعدد مرات الرى التسميدى، كما يلى:

١- فى الأراضى الرملية تفضل إضافة ٤٠٪ من النيتروجين أثناء خدمة الأرض، وباقى الكمية على حوالى ٦ دفعات أثناء النمو.

٢- يكون التسميد على ١٠ دفعات بعد الشتل أفضل مما يكون عليه الحال على ست دفعات، وفى هذه الحالة لا يهم إضافة جزء من النيتروجين قبل الزراعة.

٣- فى الأراضى الصفراء الرملية يمكن زيادة الكميات المضافة من النيتروجين قبل الشتل (Locascio وآخرون ١٩٩٧ أ).

الفوسفور

من أهم أعراض نقص الفوسفور اكتساب الأوراق لونًا أخضر قاتمًا أو قرمزيًا، وتكون

السيقان رفيعة ومتقزقة ومتليفة، بينما تكتسب الجذور لونًا بنيًا ويقل تفرعها، كذلك تكون الأوراق الكبيرة العمر صغيرة الحجم ووريقاتها ملتفة إلى أسفل. ومع استمرار نقص العنصر تكتسب هذه الأوراق لونًا قرمزيًا، وتظهر بها مساحات ميتة، وتصبح صفراء وعروقها قرمزية اللون، وتموت مبكرة. كذلك يتأخر عقد الثمار ونضجها.

وفي الأراضي الفقيرة في الفوسفور (التي يقل فيها مستوى الفوسفور عن ٩ ملليجرام/ كيلوجرام من التربة المستخلص منها الفوسفور بطريقة Mehlich-1) يكون التسميد بالعنصر مع ماء الري بالتنقيط أكثر كفاءة من التسميد بالفوسفور قبل الزراعة فقط (Carrijo & Hochmuth ٢٠٠٠).

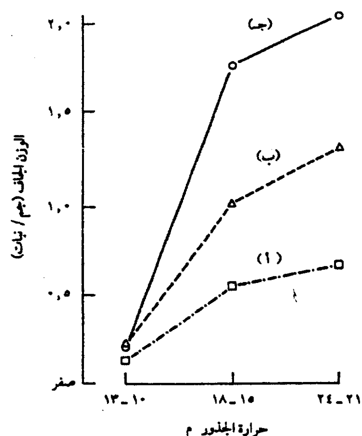
وقد تبين إمكان استعمال السوبر فوسفات الأحادي في تسميد الطماطم مع ماء الري بالتنقيط، وذلك بمعدل ٥,٤ جم من السماد لكل نبات طماطم مع نقع السماد في ٢٠ مل ماء (٥٤ كجم من السماد في ٢٠٠ لتر ماء لكل ١٠٠٠٠ نبات طماطم) لمدة ٢٤ ساعة، مع استخدام الرائق في التسميد أسبوعيًا مع الري بالتنقيط لمدة ١٥ أسبوعًا (Fontes وآخرون ٢٠١٤).

ويؤدي تيسر الفوسفور للنبات في بداية حياته إلى التبكير في النضج. وزيادة المحصول، خاصة عندما يكون الجو باردًا (Al-Afifi وآخرون ١٩٩١)، وذلك لأن امتصاص الفوسفور يقل كثيرًا في درجات الحرارة الأقل من ١٣°م، ويؤدي توفره بالقرب من جذور النباتات الصغيرة إلى زيادة الكمية الممتصة منه (Wilcox وآخرون ١٩٦٢)؛ لذا .. يضاف الفوسفور للشتلات بوفرة في صورة أسمدة بادئة عند الشتل، كما يضاف في صورة حزام ضيق تحت البذور بنحو ٥ سم عند الزراعة بالبذور مباشرة، خاصة في الجو البارد.

وقد أجريت دراسات عديدة عن تأثير درجة الحرارة على استجابة النباتات للتسميد الفوسفاتي. فقد وجد Lingle & Davis (١٩٥٩) أن استفادة نباتات الطماطم من الفوسفور كانت أعلى ما يمكن في درجات الحرارة المعتدلة والمرتفعة نسبيًا، كما ازداد تركيز العنصر في أنسجة النبات بزيادة درجة حرارة الجذور، ويعني ذلك ضعف مقدرة النباتات على امتصاص الفوسفور في درجات الحرارة المنخفضة، وحاجتها لزيادة التسميد بهذا العنصر تحت هذه الظروف.

كذلك وجد Wilcox وآخرون (١٩٦٢) أن نمو نباتات الطماطم ازداد طرديًّا بزيادة التسميد بالفوسفور فى درجات الحرارة المرتفعة نسبيًّا وهى ١٤، و ١٦°م، بينما لم تحدث استجابة عندما كانت حرارة التربة ١٣°م، وذلك مع أن تركيز الفوسفور ازداد فى أنسجة النباتات بزيادة التسميد الفوسفاتى فى كل درجات الحرارة. كما توصل Davis & Lingle (١٩٦١) من دراستهما على نباتات الطماطم النامية فى محلول هوجلند المغذى — فى حرارة تراوحت بين ١٣ و ٢٧°م — إلى أن زيادة تركيز المحلول من خُمس التركيز الكامل إلى التركيز الكامل لم تصاحبها زيادة فى النمو إلا فى درجات الحرارة المعتدلة والمرتفعة فقط.

ويوضح شكل (٤-١): استجابة نباتات الطماطم — النامية فى مزرعة رملية — لمستويات مختلفة من الفوسفور فى درجات الحرارة المختلفة. يتبين من الشكل أن الوزن الجاف للنباتات يزداد بارتفاع درجة الحرارة، ولكن هذه الزيادة تكون أعلى عند ارتفاع مستوى الفوسفور فى بيئة الزراعة.



شكل (٤-١): تأثير درجة حرارة الجذور وتركيز الفوسفور على الوزن الجاف لنباتات الطماطم النامية فى مزرعة رملية. تركيز الفوسفور فى المحلول المغذى المستعمل: (أ) جزء واحد فى المليون، (ب) ٥ أجزاء فى المليون، (ج) ١٠ أجزاء فى المليون (عن Adams ١٩٨٦).

ويستفاد مما تقدم أن التفاوت في درجات الحرارة بين الليل والنهار، يمكن النبات من الاستفادة من الفوسفور المضاف بدرجة أكبر عند ارتفاع درجة الحرارة نهارًا؛ ولهذا يوصى دائمًا بزيادة التسميد بالفوسفور عندما يسود الجو طقس بارد.

ونظرًا لانخفاض درجات الحرارة في الزراعات المبكرة في الربيع، حيث تظهر أعراض نقص الفوسفور على البادرات الصغيرة في صورة لون أزرق ضارب إلى الأحمر، أو القرمزى على الأوراق الحديثة؛ والأوراق الفلقية، والسيقان، لذلك اهتم الباحثون بكيفية توفير الفوسفور لنباتات الطماطم في هذه المرحلة من النمو تحت هذه الظروف؛ لذا .. يُضاف السماد الفوسفاتي تحت البذور مباشرة، وبذلك يمكن للجذر الأولى أن يبدأ في امتصاص الفوسفور مع بداية ظهور الورقتين الفلقتين، لأنه سيكون قد نما بمقدار ٢,٥ سم حتى تلك المرحلة. أما إذا كان السماد بعيدًا عن الجذور، فلن يستطيع النبات امتصاصه حتى تصل إليه بعض التفرعات الجذرية (Locasico & Warren ١٩٥٩). وفي دراسة أخرى استفادت النباتات من مجرد خلط السماد الفوسفاتي بالبذور بمعدل ٢,٥ كجم من سماد فوسفات أحادى الأمونيوم، ولكن لم ينصح بذلك، بل أوصى بإضافة الفوسفور تحت البذور على عمق ٢,٥ — ٤ سم (Locasico وآخرون ١٩٦٠).

وبالمقارنة .. ينخفض امتصاص جذور الطماطم للفوسفور في خلال خمسة أيام من تعرضها للحرارة ٣٦°م ويقل معها النمو الخضرى والطلب على الفوسفور، مع حدوث انخفاض في معدل تنفس الجذور؛ مما يؤدى إلى انخفاض تركيز الفوسفور في النباتات (Klock وآخرون ١٩٩٧).

أما عند الزراعة بطريقة الشتل، فقد وجد Jones & Warren (١٩٥٤) ما يلي:

١- إن إضافة السماد الفوسفاتي عميقًا في التربة تحت مستوى الشتلات كان أكثر فاعلية من إضفاته سطحيًا في خنادق بالقرب من الشتلات، أو نثرًا مع التغطية بالتربة.

٢- أدى استعمال محاليل بادئة تحليلها ٦- ٥٧ — ١٧ (لاحظ ارتفاع مستوى الفوسفور فيها) إلى إحداث زيادة جوهرية في المحصول.

٣- أدى العمل على زيادة كمية الفوسفور التى امتصتها النباتات — مبكرًا فى بداية موسم النمو — إلى زيادة المحصول بمعدلات أكبر من معدلات الزيادة فى كمية الفوسفور الكلية المتصة، كما لم يكن للفوسفور المتص فى أواخر موسم النمو أثر يذكر على المحصول.

وقد وجد Sobulo وآخرون (١٩٧٨) أنه فى حرارة ١٠°م كانت إضافة الفوسفور بطريقة السر فى خنادق banding أفضل من إضافته بطريقة النثر broadcasting، بينما لم يكن هناك فرق بين الطريقتين فى حرارة ٢٧°م، ولكن طريقة السرّ كانت أفضل فى الأراضى ذات القدرة الكبيرة على تثبيت الفوسفور.

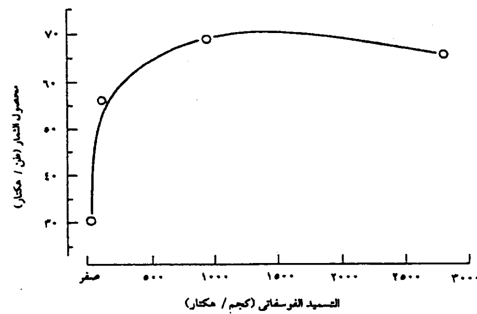
وحديثًا .. تزايد الاهتمام بتأثير حرارة التربة المرتفعة على نمو نباتات الطماطم وامتصاصها لعنصر الفوسفور، وذلك بسبب احتمالات تعرض الجذور لدرجات حرارة شديدة الارتفاع عند استخدام الأغطية البلاستيكية للتربة، وعند الزراعة بتقنية الغشاء المغذى صيفًا؛ فقد وجد أن درجة حرارة الوسط الذى تنمو فيه الجذور ارتفعت إلى أكثر من ٣٥°م تحت الغطاء البلاستيكى، بينما كانت الحرارة المثلى لنمو جذور الطماطم وامتصاص عنصر الفوسفور ٢٥°م.

وقد وجد Klock وآخرون (١٩٩٧) أن تعريض جذور الطماطم — فى مزرعة مائية — لحرارة ٣٦°م أدى إلى زيادة معدل تنفس الجذور حتى اليوم الثامن من معاملة التعريض للحرارة العالية، ثم انخفاضه بعد ذلك، كما انخفض تركيز الفوسفور خطيًا — مع الوقت — فى النموات الخضرية للنباتات المعاملة، بينما ازداد نشاط إنزيم الفوسفاتيز — فى الجذور — خطيًا — مع الوقت كذلك، وكان ذلك مصاحبًا بنقص فى النمو الخضرى للنباتات المعاملة، مقارنة بتلك التى عُرِّضت جذورها لحرارة ٢٥°م.

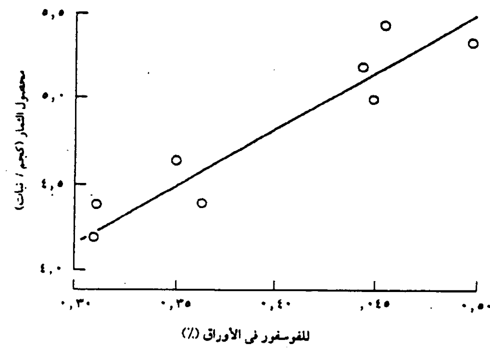
وتتضح العلاقة بين التسميد بالفوسفور، والمحصول فى شكلى (٤-٢) و(٤-٣). فنجد فى الشكل الأول أن النباتات استفادت من زيادة معدلات التسميد الفوسفاتى حتى نحو ١٢٥٠ كجم من الفوسفور للهكتار، ثم انخفض المحصول بزيادة التسميد الفوسفاتى عن ذلك. أما شكل (٤-٣) فيبين طردية العلاقة فى خط مستقيم بين محتوى الأوراق من الفوسفور

والمحـصول. ولا تتحقـق النـسب المرتفعـة مـن الفوسـفور فـى الأوراق إلا بالتـسميد الفوسـفاتى الجيد، مع تيسر العنصر لامتصاص النبات دون أن يثبت فى التربة (Adams ١٩٨٦).

وتجدر الإشارة إلى وجود علاقة عكسية بين زيادة معدلات التسميد الفوسـفاتى وامتـصاص النباتات لعنصر البورون؛ الأمر الذى يعنى أهمية تجنب الإفراط فى التسميد بالفوسفور.



شكل (٤-٢): العلاقة بين معدل التسميد الفوسفاتى والمحصول.



شكل (٤-٣): العلاقة بين محتوى الأوراق من الفوسفور والمحصول.

البوتاسيوم

من أهم الأعراض الأولى التى تميز نقص عنصر البوتاسيوم فى الطماطم ظهور تجعّد دقيق على الأوراق الحديثة، بينما تكتسب الأوراق الكبيرة لونًا أخضر قاتمًا فى البداية، ولكنه سريعًا ما يتحول إلى اللون الأخضر المصفر عند حواف الوريقات. ويعقب ذلك امتداد هذه الأعراض نحو مركز الوريقات بين العروق، وكثيرًا ما يتغير لون الأنسجة المتأثرة إلى اللون البرتقالى الزاهى، وتكون سهلة التقصف، ثم تتحول إلى اللون البنى، وتموت فى نهاية الأمر.

وتكون سيقان النباتات التى تعانى من نقص البوتاسيوم صلبة ومتخشبة، وتفشل فى الزيادة كثيرًا فى السمك. هذا.. بينما تبقى جذور النباتات رفيعة، وقد تصبح بنية اللون.

تأثير نقص البوتاسيوم على الطماطم

يؤدى النقص الشديد للبوتاسيوم لفترة طويلة (٢١ يوم) إلى إحداث خفض شديد فى الكتلة البيولوجية للطماطم، خاصة بعد حدوث نقص فى قطر ساق النبات. وبسبب ضعف الطلب على الغذاء المجهز يتراكم السكر فى الأوراق؛ الأمر الذى يؤدى إلى خفض فى معدل البناء الضوئى. ولا يكون ذلك مصاحبًا بأى تأثير على مستوى البوتاسيوم أو السكر بالثمار (Kanai وآخرون ٢٠٠٧).

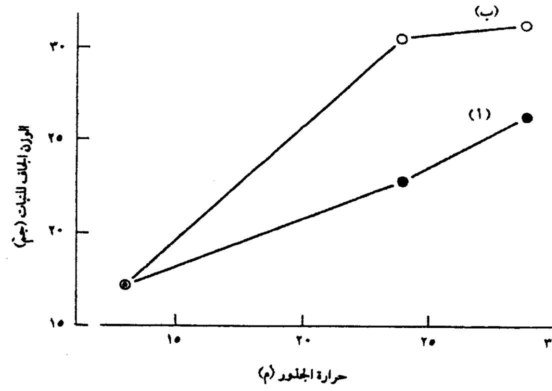
يلعب البوتاسيوم دورًا أساسيًّا فى انتظام تلون الثمار، وتكون حاجة النباتات من العنصر — التى تعطى أفضل تلوين للثمار — أعلى من مستوى التسميد البوتاسى الذى يعطى أعلى محصول (Winsor & Adams ١٩٨٧).

وتوجد علاقة طردية بين تركيز البوتاسيوم فى نسيج الورقة ومحتوى الثمار من الحموضة المعايرة والحموضة الكلية؛ وهو ما يعنى تحسّن طعم الثمار بزيادة التسميد البوتاسى.

كذلك يؤدى نقص البوتاسيوم إلى نقص الفترة التى تلزم لوصول الثمار إلى مرحلة النضج، وسرعة الوصول إلى مرحلة الكلايمكترك.

ولا توجد مشاكل خاصة بالتسميد البوتاسى، وإن كان من الضرورى أن يتوفر العنصر للنبات بطبيعة الحال. وتجدر الإشارة إلى أن أعراض نقص البوتاسيوم تظهر على النباتات — عادة — عند اقترابها من النضج فى صورة اصفرار بالأوراق، وموت حوافها أحيانًا، وامتداد الاصفرار بين العروق. ولا يمكن التخلص من هذه الأعراض حتى مع استمرار التسميد البوتاسى عن طريق التربة، أو بالرش طوال موسم النمو، كما لم تؤد زيادة التسميد البوتاسى — حينئذ — إلى زيادة المحصول (Sims وآخرون ١٩٧٩). إلا أن الإفراط فى التسميد بالبوتاسيوم يمكن أن يؤدى إلى إصابة الثمار بتعفن الطرف الزهرى، نتيجة لمنافسة كاتيون البوتاسيوم لكاتيون الكالسيوم فى الامتصاص.

وتزداد استجابة نباتات الطماطم إلى التسميد البوتاسى بارتفاع حرارة الجذور؛ حيث يزداد الوزن الجاف للنباتات بارتفاع درجة الحرارة، وتكون الزيادة فى الوزن أكبر مع زيادة تركيز البوتاسيوم فى بيئة الزراعة (شكل ٤-٤).



شكل (٤-٤): تأثير درجة حرارة الجذور وتركيز البوتاسيوم على الوزن الجاف لنباتات الطماطم النامية فى مزرعة لا أرضية. تركيز البوتاسيوم فى بيئة الزراعة: (أ) ٤ مللى مكافئ /لتر، (ب) ١٢ مللى مكافئ/ لتر.

يـزداد تركيـز البوتاسـيوم فـى أوراق الطمـاطم بزيـادة معـدلات التـسميد الأسمـدة البوتاسية دون أن تتأثر تلك العلاقة بمصادر البوتاسيوم المستخدم. ويوصـى فـى الأراضـى الفقيرة فى البوتاسيوم بتسميدها– فى حالتى الرى بالتنقيط السطحى وتحت السطحى – بمعدل ٨٨ كجم بوتاسيوم (K) للفدان (Locascio وآخرون ١٩٩٧ أ، ١٩٩٧ ب).

هذا .. ويؤثر مستوى البوتاسيوم على محتوى ثمار الطمـاطم الـشيرى مـن المركبـات المتطايرة المسئولة عن النكهة، وكذلك على الخصائص المسئولة عن الطعم. وقـد وجـد أن تركيز المركبات المتطايرة التالية:

1-penten-3-one	3-methylbutanal
cis-3-hexenal	hexanal
trans-2-hexenal	2-methyl-4-pentenal
6-methyl-5-hepten-2-one	2E-4E-hexadienal
phenylethanol	phenylacetaldehyde

وكذلك تركيز السكريات الذائبة والمواد الصلبة الذائبة يزداد، ثم يـنخفض بزيـادة تركيـز البوتاسيوم فى المحلول بين صفر، و١٠ مللى مول K/لتر. وقد حُـصِلَ علـى أعلـى القيم لتلك المركبات فيما بين ١,٤، و٣,٠ مللى مول K/ لـتر، باسـتثناء الــ cis-3-hexenal (١,١ مللى مولى K/ لتر)، والـ phenylacetaldehyde (٤,٥ مللى مول K/ لتر)، والـ phenylethanol (٤,٨ مللى مول K/ لتر). وبالمقارنة .. فإن زيادة مـستوى البوتاسـيوم فى المحلول المغذى قلل مـن نـسبتى الـسكريات الذائبـة إلى الحموضـة المعـايرة، والمـواد الذائبة إلى الحموضة المعـايرة. وإجمـالاً.. يعتقـد أن تـوفير البوتاسـيوم بـين ١,٤، و ٣,٠ مللى مول/ لتر يُحسن طعم الطماطم، بينما غيـاب العنـصر أو زيادتـه عـن تلـك الحـدود يُكسب الثمار طعمًا رديئًا، ربما بسبب تواجد مـستوى غـير مرغـوب فيـه مـن المركبـات المسئولة عن النكهة (Wang وآخرون ٢٠٠٩).

الكبريت

نادرًا ما تظهر أعراض نقص الكبريت على نباتات الطماطم؛ لتوفر العنصر فى عديد من الأسمدة التى تسمد بها حقول الطماطم، مثل: سلفات الأمونيوم، وسلفات البوتاسيوم، والسوبر فوسفات (الذى يحتوى على الجبس وهو سلفات الكالسيوم)، وسلفات المغنيسيوم. وتتشابه أعراض نقص الكبريت — إلى حد ما — مع أعراض نقص النيتروجين؛ فتأخذ الأوراق السفلى للنبات لونًا أخضر مصفرًا، وتصبح السيقان متصلبة ومتخشبة، وتزداد كثيرًا فى الطول، ولكنها تبقى رفيعة. كما قد تظهر بقع متحللة على قمة وحواف الوريقات، وبقع قرمزية صغيرة بين العروق فى الأوراق الكبيرة.

الكالسيوم

نادرًا ما يعانى النمو الخضرى أو الزهرى لنباتات الطماطم من نقص عنصر الكالسيوم، وإذا ما حدث ذلك فإن الأعراض تظهر فى المناطق الميرستيمية النشطة فى الانقسام؛ حيث تموت القمة النامية والوريقات الطرفية، وتكون سيقان النباتات — المتأثرة بنقص العنصر — قليلة الصلابة، وتظهر بالقرب من قممها النامية بقع متناثرة من أنسجة ميتة. كذلك تفشل الأزهار فى العقد وتموت البراعم الطرفية فى العناقيد الزهرية.

ويؤدى انخفاض تركيز الكالسيوم (إلى ٠,٥ بدلاً من ٩ مللى مكافئ/ لتر) لفترات قصيرة فى المحاليل المغذية إلى حدوث انخفاض كبير فى محتوى نباتات الطماطم من الكالسيوم، إلاّ أن تلك الفترات القصيرة لا تؤثر على معدل النمو النباتى. وبالمقارنة.. فإن زيادة الرطوبة النسبية (من ٧٠٪ إلى ٩٥٪) تُحدث نقصًا كبيرًا (ولكن بدرجة أقل) فى محتوى الأنسجة من الكالسيوم، إلاّ أن ذلك يكون مصاحبًا بنقص فى النمو الخضرى (Del Amor & Marcelis ٢٠٠٦).

وبالمقارنة .. فإن ثمار الطماطم تكون حساسة جدًا لنقص العنصر، حيث تظهر عليها أعراض العيب الفسيولوجى المعروف باسم "تعفن الطرف الزهرى" عندما لا تصلها كميات كافية من العنصر.

ظهرت نسبة عالية من إصابة ثمار الطماطم بتعفن الطرف الزهرى عندما كان تركيز الكالسيوم فى المحلول المغذى ٦٠ مجم/ لتر، ولم يكن الرش بكلوريد الكالسيوم مفيدًا فى تصحيح هذا الوضع، ولكنه حسّن من محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة ووزنها الجاف. وبينما لم تتأثر إصابة الثمار بالأمراض بعد الحصاد بمعاملة الرش بالكالسيوم، فإن الفقد فى الوزن أثناء التخزين انخفض برش النموات الخضرية بالكالسيوم (Coolong وآخرون ٢٠١٤).

وتكون جذور النباتات المتأثرة بنقص العنصر قصيرة، وسميكة، وكثيرة التفريع، وتأخذ لونًا بنيًا داكنًا.

المغنيسيوم

يكثر ظهور أعراض نقص المغنيسيوم — وخاصة فى الزراعات المحمية — وذلك بسبب الإفراط فى التسميد البوتاسى، الذى يؤدى تلقائيًا إلى ضعف امتصاص عنصر المغنيسيوم. فى بداية الأمر.. تميل الأوراق الكبيرة إلى الالتفاف إلى أعلى، ولكن سريعًا ما تتطور أعراض نقص العنصر على صورة اصفرار يظهر بين العروق فى الأوراق السفلى للنبات، مع ظهور بقع متحللة متناثرة فى المساحات الصفراء، بينما تبقى العروق والمناطق المحيطة بها مباشرة خضراء اللون. وقد يبدأ ظهور الاصفرار عند طرف الأوراق، ثم ينتشر نحو الداخل بين العروق. وفى نهاية الأمر تكتسب الأوراق الكبيرة لونًا بنيًا وتموت. وتزداد شدة ظهور الأعراض على أوراق النبات أثناء تكوين الثمار، ولكن لا تظهر على الثمار ذاتها أىُّ أعراض.

الحديد

يؤدى نقص الحديد إلى اكتساب الأوراق القمية لنبات الطماطم لونًا أخضر باهتًا مصفرًا، مع ظهور تبرقشات صفراء بين العروق تبدأ من قاعدة الورقة المركبة وقواعد الوريقات، كما يتقزم النمو. وفى بداية تطور الأعراض تبقى عروق الأوراق خضراء اللون،

وتبدو كشبكة دقيقة خضراء على خلفية صفراء اللون، ولكن — مع استمرار نقص العنصر — يصبح كل نصل الورقة — فى الأوراق الطرفية — أصفر اللون.

هذا .. ويقل انتقال عنصر الحديد من الجذور إلى الأوراق عند توفر تركيزات عالية من أى من عناصر الكالسيوم أو المنجنيز أو الزنك فى بيئة الزراعة.

المنجنيز

يؤدى نقص المنجنيز إلى صغر حجم الأوراق، وظهور تبرقش بين العروق فى الأوراق الحديثة، ويكون بلون أخضر باهت فى البداية، ثم يتحول إلى اللون الأصفر، بينما تبقى العروق خضراء اللون. كما تظهر بقع صغيرة بنية اللون فى المساحات الصفراء، يبدأ ظهورها بالقرب من قواعد الوريقات بعيدًا عن العروق، ثم تزداد تدريجيًّا فى المساحة إلى أن تلتحم معًا. كذلك يقل نمو المجموع الجذرى، وتكون الجذور أقصر وأقل سمكًا مما تكون عليه الحال فى النمو الطبيعى، ويظهر بعض التلون البنى فى القمم النامية.

يحدث التسمم بالمنجنيز عندما يزداد تركيز العنصر فى بيئة الزراعة، وهو أمر شائع فى الأراضى الحامضية، والأراضى الغدقة، والأراضى المعقمة جزئيًّا بالبخار ومن أهم أعراض التسمم بالمنجنيز ظهور بقع بنية اللون على أعناق الأوراق والسيقان. ويبلغ تركيز المنجنيز فى أوراق النباتات التى تعانى من زيادة العنصر أكثر من ١٠٠٠ جزء فى المليون. وتؤدى إضافة السوبر فوسفات إلى تقليل حدة التسمم بالمنجنيز.

النحاس

قد تظهر أعراض نقص النحاس على بادرات الطماطم النامية فى بيئات أساسها البيت موس بسبب تكوين العنصر لمركبات معقدة ثابتة مع المادة العضوية؛ الأمر الذى يجعله أقل تيسرًا للنبات. ومن أهم أعراض نقص العنصر بطء النمو وتقزمه، والتفاف حواف الأوراق إلى أعلى نحو الداخل، مع ظهور انسفاع عليها. ويظهر اصفرار بالأوراق السفلى للنبات، التى لا تلبث أن تتحول إلى اللون البرونزى، فالبنى، مع ظهور تحلل

بحواف الوريقات وتلون أسود بالعروق. كذلك تظهر بقع بنية متخشبة على السيقان وأعناق الأوراق، كما يقل الإزهار ويتأخر، ويضعف النمو الجذرى بشدة.

الزنك

تظهر أعراض نقص الزنك فى الأراضى القلوية، خاصة عند زيادة التسميد الفوسفاتى. ومن أهم أعراض نقص العنصر قِصَر السلاميات، وتوقف النمو الخضرى، مع ظهور اصفرار بين العروق فى الأوراق السفلية للنبات، مع انتشار الاصفرار فى الأوراق الأعلى بصورة تدريجية، وتكتسب الأوراق السفلى لونًا بنيًّا فى نهاية الأمر. ومن الأعراض الأخرى التى يسببها نقص العنصر التفاف حواف الوريقات إلى أسفل، وظهور بقع بنية اللون على العروق وفيما بينها، وعلى أعناق الأوراق وأعناق الوريقات، مع التفاف أعناق الأوراق إلى أسفل.

البورون

يؤدى نقص البورون إلى ضعف النمو الجذرى، وتضخم السويقة الجنينية العليا، وتضخم الأوراق الفلقية، وسهولة تقصف الأوراق وأعناقها، كما تتحلل القمة النامية للنبات، ولا يكتمل نمو الأوراق فتكون غير منتظمة الشكل، وتقصر السلاميات، ويزداد التفريع الجانبى، وتحدث تغيرات خلوية غير طبيعية. كما وجد أن نقص البورون يرتبط جوهريًّا بضعف الإزهار، والعقد، ونقص حجم الثمار المتكونة، مع ظهور أنسجة فلينية عند أكتاف الثمرة بالقرب من الكأس.

ومن أبرز أعراض نقص العنصر فى المزارع الرملية اصفرار حواف الأوراق العليا للنبات بالقرب من قواعدها، ثم اكتسابها لونًا أحمر أو قرمزيًّا، مع تلون العروق فى السطح السفلى للأوراق باللون القرمزى. كذلك يضعف النمو الجذرى للنبات، وتأخذ القمم الجذرية النامية مظهرًا جيلاتينيًّا، وتصبح بنية اللون. ومع استمرار نقص العنصر تظهر مساحات كبيرة من الأوراق ملونة بالأصفر، والبنى، والقرمزى، مع حدوث زيادة

فى سمك الأوراق، ويأخذ النبات مظهرًا متقزمًا نتيجة لظهور أوراق جديدة متزاحمة تحت قمته النامية.

وتزداد فرصة ظهور أعراض نقص البورون عند زيادة التسميد الفوسفاتى أو البوتاسى.

وتؤدى زيادة البورون فى التربة، أو فى مياه الرى، أو زيادة التسميد بالبورون إلى احتراق حواف الأوراق السفلى مع تقدم ظهور الأعراض — تدريجيًّا – فى الأوراق الأعلى. ويحدث ذلك عندما يصل تركيز البورون فى الأوراق إلى حوالى ١٥٠ جزءًا فى المليون.

تستفيد نباتات الطماطم — كثيرًا — من التسميد بالبورون، سواء أكانت إضافته عن طريق التربة أم رشًا. وقد ظهرت تلك الاستفادة فى صور عديدة تضمنت: زيادة النمو النباتى، وزيادة تركيز عناصر البوتاسيوم والكالسيوم والبورون فى النسيج النباتى، وزيادة امتصاص النيتروجين، وزيادة الوزن الطازج للنباتات والوزن الجاف للجذور، وتحسين عقد الثمار، وزيادة المحصول الكلى ومحصول ثمار الدرجة الأولى، وزيادة صلابة الثمار وقدرتها التخزينية. وقد لعب البورون دورًا هامًّا فى الاستفادة من البوتاسيوم، حيث وجدت تركيزات عالية من كل من البورون والبوتاسيوم فى ثمار الطماطم المسمدة بالبورون (Davis وآخرون ٢٠٠٣).

هذا .. إلاّ أن زيادة البورون عما ينبغى يؤدى إلى تسمم النبات بالعنصر؛ الأمر الذى يمكن تجنبه — جزئيًّا — بالتسميد الجيد بالزنك (Günes وآخرون ١٩٩٩).

وقد ظهرت أعراض التسمم بالبورون على نباتات الطماطم عند زيادة تركيز العنصر بالنبات من ٠,٥ مجم/ كجم إلى ٥ أو ٥٠ مجم/ كجم، وظهر التسمم على صورة ضعف فى النمو، وزيادة فى نفاذية الأغشية الخلوية وتراكم للبرولين، وزيادة فى نشاط الإنزيم nitrate reducatse (Eraslan وآخرون ٢٠٠٧).

الموليبدنم

تظهر أعراض نقص عنصر الموليبدنم فى الأراضى الحامضية؛ ولذا .. تندر ملاحظة تلك الأعراض فى الوطن العربى. وتكون الأعراض — التى قد تحدث فى المزارع المائية — على صورة تبرقش واضح يظهر على الأوراق السفلى للنبات، ثم تحترق حواف الأوراق وتلتف نحو الداخل وتجف — تدريجيا — من القمة إلى القاعدة، كما تسقط معظم الأزهار بدون عقد. وفى حالات النقص الشديد تظهر الأعراض كذلك على الأوراق الحديثة (عن Purvis & Carolus ١٩٦٤، و Winsor & Adams ١٩٨٧).

السيلينيم

أدت إضافة السيلينيم للمحلول المغذى للطماطم بتركيز ملليجرام واحد Se/ لتر إلى امتصاص الجذور له وزيادة تركيزه فى كل من الأوراق والثمار، وإلى تأخير بداية نضج الثمار، وتأخير الحصاد، وخفض محتواها من البيتاكاروتين، وذلك مقارنة بعدم تزويد المحلول المغذى بالعنصر. وقد أدت المعاملة — كذلك — إلى بطء التغير اللونى فى الثمار، وانخفاض معدل إنتاج الإيثلين بها؛ مما يعنى إمكان تأثير المعاملة إيجابيًا على قدرتها التخزينية (Pezarossa وآخرون ٢٠١٤).

التسميد العضوى

أدى الاعتماد على سبلة الدواجن فى إنتاج الطماطم إلى زيادة محصول الثمار ومحتواها من عنصر الزنك المهم لصحة الإنسان، مع خفض لمحتواها من عنصر البروم الضار (Demir وآخرون ٢٠١٠).

وأحدث تسميد الطماطم بمعدل ٤٢ كجم من هيومات البوتاسيوم + ٢١ طن مترى من السماد البلدى للفدان — كبديل للتسميد المعدنى — زيادة فى كل من محصول الثمار ومحتواها من فيتامين C والمواد الصلبة الذائبة الكلية، بالإضافة إلى إحداث زيادة فى كل من الوزن الجاف للنبات والوزن الجاف للجذور ومحتوى الأوراق من البرولين الحر والعناصر (N ، P ، K، Fe، Mn، Zn) والنتريت والنترات، وذلك مقارنة بمستويات التسميد بالهيومات والسماد البلدى الأقل من ذلك (Rady ٢٠١١).

وقد تحسن مظهر بادرات الطماطم كثيرًا عند ما زود محلول هوجلند المغذى (بتركيز ٥٠٪) المستخدم فى إنتاجها بمستخلص (أوراشح) الفيرميكومبوست vermicompost بتركيز ١ : ١٠ (حجم /حجم). وفى غياب كلا من الفوسفور والبوتاسيوم من المحلول المغذى فإن إضافة مستخلص الفيرميكمبوست حسّن من مختلف دلائل النمو، مثل طول النبات وعدد الأوراق والوزن الجاف لكل من النمو الخضرى والجذور، مقارنة بما حدث فى شتلات معاملة المقارنة. هذا .. إلا أن تلك المعاملة لم تعوض نقص النيتروجين (Arthur وآخرون ٢٠١٢).

كذلك وجد أن إضافة المتبقيات السائلة من عمليات التخمر التى تُجرى لأجل إنتاج الناشرات الحيوية ذات الببتيدات الدهنية lipopeptide biosurfactants (وهى متبقيات عضوية تحتوى على كميات كبيرة من العناصر المغذية الميسرة للامتصاص والأحماض الأمينية، مع حدود دنيا من العناصر الثقيلة).. وجد أن إضافتها لأصص الطماطم بنسبة ١٪ (حجم/ وزن) أدت إلى تحسين كل دلائل النمو النباتى، وإلى زيادة أعداد بكتيريا المحيط الجذرى والنشاط الإنزيمى فيه، وإلى زيادة تيسر العناصر، وكان التأثير المفيد لإضافة المتبقيات السائلة أفضل من إضافة النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم المعدنى عند نفس المستوى (Zhu وآخرون ٢٠١٣).

التفاعلات بين العناصر

تؤثر العناصر السمادية على بعضها البعض، فتؤدى زيادة إحداها إلى ظهور أعراض نقص واحد أو أكثر من العناصر الأخرى. ومن أمثلة هذه التفاعلات ما يلى:

١- يؤدى الإفراط فى التسميد الآزوتى، أو الفوسفاتى، أو البوتاسى إلى ظهور أعراض نقص عنصر المغنيسيوم.

٢- تؤدى زيادة الآزوت إلى ظهور أعراض نقص عنصر البوتاسيوم.

٣- تؤدى زيادة الفوسفور إلى نقص واضح فى امتصاص النبات لعناصر البورون، والزنك، والمنجنيز.

٤- تؤدى زيادة عنصر المنجنيز إلى نقص امتصاص عنصر الحديد.

٥- تؤدى زيادة الملوحة إلى زيادة تركيز الفوسفور، ونقص تركيز النتيروجين النيتراتى، والكالسيوم فى الأوراق (عن Adams ١٩٨٦).

ولمزيد من التفاصيل المزودة بالصور الملونة عن أعراض نقص، وزيادة جميع العناصر الغذائية وأهميتها لنبات الطماطم.. يراجع Eysinga & Smilde (١٩٨١).

احتياجات نباتات الطماطم من العناصر خلال مختلف مراحل نموها

تعطى الأصناف التقليدية من الطماطم ذات النمو الخضرى المتمد — سواء أكانت محدودة النمو أم غير محدودة النمو — نحو ٢٪ من نموها الكلى خلال الشهر الأول بعد الشتل، و ٢٦٪ فى الشهر الثانى، و٧٢٪ فى الشهر الثالث، كذلك تمتص معظم احتياجاتها من العناصر الغذائية خلال الشهر الثانى والثالث بعد الشتل. ويبدو ذلك واضحًا فى جدول (٤-١) الذى يُبَيّن النسبة المئوية لامتصاص الطماطم للعناصر الغذائية الكبرى خلال الأشهر الثلاثة الأولى بعد الشتل. ويتضح من الجدول أن ثلثى كمية العناصر الممتصة تكون فى الشهر الثالث بعد الشتل، أى خلال الفترة التى يحدث فيها معظم النمو الخضرى، وجزء كبير من النمو الثمرى.

جدول (٤-١): النسبة المئوية لامتصاص نبات الطماطم للعناصر الغذائية الأولية (النيتروجين، والفوسفور والبوتاسيوم) خلال الشهور الثلاثة الأولى بعد الشتل.

العنصر	النسبة المئوية لامتصاص العنصر خلال الشهر		
	الأول بعد الشتل	الثانى بعد الشتل	الثالث بعد الشتل
النيتروجين	٣	٢٨	٦٩
الفوسفور	٣	٣٥	٦٢
البوتاسيوم	٢	٣٠	٦٨

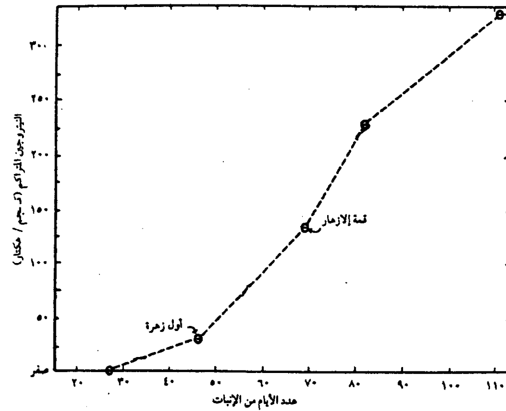
وفى دراسة أخرى أُجريت على أحد أصناف الطماطم التى زرعت بالبذور مباشرة فى أرض رملية ورويت بطريقة التنقيط، تم حساب كمية النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم التى امتصتها النباتات يوميًّا. ويُبَيِّن جدول (٤-٢) نتائج هذه الدراسة والتى تفيد بأن معدل الامتصاص اليومى يختلف عن عنصر لآخر، فيكون معدل امتصاص الآزوت مرتفعًا بوجه عام، ولكنه يزيد بصورة خاصة خلال مرحلة الإزهار (فى بداية الشهر الثالث بعد الزراعة)، وأثناء نمو ونضج الثمار (عند منتصف الشهر الرابع وحتى الحصاد). ويكون معدل امتصاص الفوسفور منخفضًا بوجه عام، ولكنه يزيد زيادة كبيرة خلال مرحلة الإزهار فى النصف الأول من الشهر الثالث بعد زراعة البذور. ويتشابه البوتاسيوم مع النيتروجين فى امتصاص النباتات له بكميات كبيرة نسبيًّا، ولكن الامتصاص يزداد بشدة خلال النصف الأول من الشهر الثالث، ثم يقل بعد ذلك (عن Adams ١٩٨٦).

جدول (٤-٢): معدل الامتصاص اليومى للطماطم المزروعة فى تربة رملية، وتروى بطريقة التنقيط من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم.

الفترة	معدل الامتصاص اليومى (ملليجرام / نبات)		
(عدد الأيام بعد زراعة البذور)	النيتروجين	الفوسفور	البوتاسيوم
٤٢- ٦٤	٦٥	٧	١٠٣
٦٤- ٧٦	٩٠	١٧	١٥٥
٧٦- ١١١	٦٥	٥	٨٥
١١١- ١٨٠	١٠٥	٦	٨٥

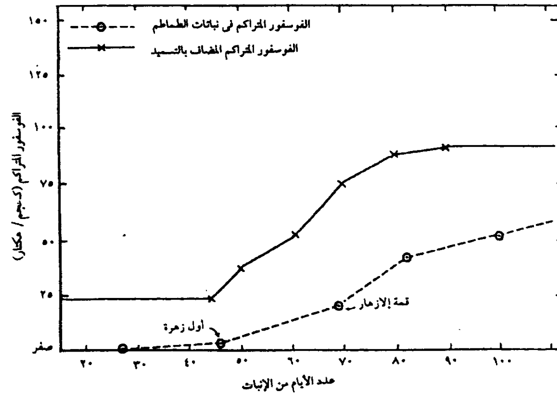
ويبين شكل (٤-٥) الكمية التراكمية الممتصة من النيتروجين خلال مختلف مراحل نمو نباتات الطماطم، ويتبين منه أن الكمية الكلية الممتصة من النيتروجين تبلغ حوالى ٣٢٥ كم/ هكتار (حوالى ١٣٥ كجم / فدان) بعد حوالى ١١٠ أيام من إنبات البذور (عند الزراعة بالبذور مباشرة فى الحقل الدائم)، تمتص النباتات منها حوالى ٣٠ كجم فقط

(حوالى ٩٪) خلال مرحلة النمو التى تسبق ظهور أول زهرة، بينما يبلغ الامتـصاص الكلـى (حوالى ١٣٥ كجم/ هكتار (حوالى ٤١٪) عندما تصل النباتات إلى قمة مرحلة الإزهار.



شكل (٤–٥): الكمية التراكمية الممتصة من النيتروجين خلال مختلف مراحل نمو نباتات الطماطم.

وبالمقارنة .. يوضح شكل (٤–٦) العلاقة بين المعدل التراكمـى لامتـصاص الفوسـفور مع عدد الأيام بعد زراعة البذور، مع بيـان بكميـات الفوسـفور المـضافة خـلال مختلـف مراحل نمو نباتات الطماطم. يتبين من الشكل أن الكميـة الكليـة الممتـصة مـن الفوسـفور بلغت حوالى ٦٠ كجم/ هكتار (حوالى ٢٥ كجم/ فدان) بعد حـوالى ١١٠ أيـام مـن زراعـة البذور، بينما بلغت الكمية الكلية المضافة من العنـصر حـوالى ٩٠ كجـم / هكتـار (حـوالى ٣٧,٥ كجم / فدان). كمـا يوضـح الـشكل ان النباتـات تمـتص حـوالى ٤ كجـم فقـط مـن الفوسفور (حـوالى ١٦٪) خـلال مرحلـة النمـو التـى تـسبق ظهـور أول زهرة،بينمـا يبلـغ الامتصاص الكلى حوالى ٤٠ كجم/ هكتار (حوالى ٦٦,٧٪) عندما تـصل النباتـات إلى قمـة مرحلة الإزهار (عن Phene وآخرين ١٩٨٧).



شكل (٤–٦): الكمية التراكمية المضافة من الفوسفور والكمية التراكمية الممتصة منه خلال مختلف مراحل نمو نباتات الطماطم.

وعلى الرغم من اختلاف أصناف الطماطم فى كمية العناصر التى تمتصها من التربة، إلا أن الكميات تتقارب عند تساوى المحصول، يُوضح جدول (٤–٣) متوسط كميات النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم التى تمتصها نباتات الطماطم لكل فدان، كما يتضح من الجدول أن معظم الكميات الممتصة من عنصرى الفوسفور، والبوتاسيوم تصل للثمار، بينما تحتفظ النموات الخضرية بمعظم النيتروجين الممتص. وتفيد هذه الحقيقة — فى تخطيط البرنامج التسميدى لكل من الطماطم، والمحاصيل التى تليها فى الدورة، لأن جزءًا كبيرًا من النيتروجين الممتص يعود للتربة مرة أخرى عند قلب النموات الخضرية للطماطم فيها بعد الحصاد، بينما تُزال معظم الكميات الممتصة من الفوسفور والبوتاسيوم نهائيًّا من الحقل مع الثمار.

جدول (٤-٣): متوسط كميات العناصر الأولية (النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم) التي تمتصها نباتات الطماطم لكل فدان (كجم).

العنصر	متوسط الكمية الممتصة	المدى	نسبة الكمية الممتصة التي تصل للثمار
النيتروجين	٧٥	٦٥- ٨٥	٢٥
الفوسفور	٧	٦- ٨	٧٥
البوتاسيوم	١٥٠	١٠٠- ١٧٥	٦٠

وإذا ما اختلفت الأصناف في كمية المحصول.. فإنه يمكن التعميم — بالنسبة للأصناف الحديثة ذات النمو المندمج — أن كل ٢٠ طنًا من الثمار تزيل معها — من الحقل — حوالى ٢٥ كجم من النيتروجين، و٦ كجم من خامس أكسيد الفوسفور (P_2O_5)، و٥٠ كجم من أكسيد البوتاسيوم (K_2O)، و ٢,٥ كجم من كل من أكسيد الكالسيوم (CaO) وأكسيد المغنيسيوم (MgO).

وتتحدد الاحتياجات السمادية الكلية للنبات من المعلومات المبينة أعلاه (الكميات التي تصل إلى الثمار ونسبتها من الكميات التي يمتصها النبات)، والمحصول الكلي المتوقع، ونسبة ما يفقد من الأسمدة مع مياه الري أو الغسيل، ونسبة ما يثبت منها في التربة. ويعتبر تثبيت الفوسفور هو العامل الأول المسئول عن إضافة كميات من العنصر تزيد — كثيرًا — عن حاجة النباتات الفعلية منه.

وبصفة عامة.. يلزم لإنتاج كل طن من ثمار الطماطم امتصاص النباتات لحوالى ٢,٥- ٣ كجم نيتروجين، و٠,٢- ٠,٣ كجم فوسفور (P)، و ٣- ٣,٥ كجم بوتاسيوم (K). وتحتوى ثمار الطماطم على نحو ٤٥٪ - ٦٠٪ من إجمالى النيتروجين الممتص، و٥٠٪ - ٦٠٪ من الفوسفور، و٥٥٪ - ٧٠٪ من البوتاسيوم. وتُمتص غالبية العناصر التي ينتهي بها الحال في الثمار بداية من مرحلة الإزهار. وتقل نسبة العناصر التي تصل إلى الثمار — مقارنة بالكمية الإجمالية الممتصة منها — بزيادة معدلات التسميد. وتنتقل نسبة بسيطة من النيتروجين الممتص من الأوراق إلى الثمار، ويحدث الأمر ذاته بالنسبة للفوسفور والبوتاسيوم — كذلك — ولكن بدرجة أقل. ويبلغ أقصى احتياج للعناصر الثلاثة بداية من

بعد الإزهار بنحو ١٠ أيام إلى حين نضج الثمار. وتُمتص نسبة أعلى من الفوسفور أثناء الليل مقارنة بالامتصاص الليلى لعنصرى النيتروجين والبوتاسيوم. ويناسب الطماطم ارتفاع نسبة النيتروجين النتراتى مقارنة بالنيتروجين الأمونيومى فى الأسمدة المستعملة معها. وتعد أفضل نسبة أنيونات لتسميد الطماطم هى: ٥٨ نيتروجين: ٣٦ كبريت: ٦ فوسفور، وأفضل نسبة كاتيونات هى: ٣٩ بوتاسيوم: ٣٢ كالسيوم: ٢٩ مغنيسيوم. وأفضل توقيت وطريقة لتحديد مستوى النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم فى النبات هى بتحليل الورقة الخامسة من قمة النبات فيما بين بداية الإزهار وحتى بداية النضج (Hegde ١٩٩٧).

طرق التعرف على مدى حاجة نبات الطماطم إلى التسميد

تحليل التربة

يكفى تركيزًا للنترات فى التربة قدره ١٥- ٢٠ جزء فى المليون لسد احتياجات النباتات من النيتروجين على المدى القصير خلال مراحل النمو الأولى، ولكن الأمر يحتاج إلى التسميد المنتظم بالنيتروجين عندما تبدأ النباتات فى النمو السريع.

وتقل الحاجة إلى التسميد بالفوسفور إذا زاد محتوى التربة من الفوسفور (P) عن ٢٠ جزءًا فى المليون باختبار البيكربونات (Oslen)، وتفضل إضافة معظم السماد الفوسفاتى قبل الزراعة.

وفى الأراضى التى تروى سطحيًا تقل الحاجة إلى التسميد بالبوتاسيوم إذا زاد محتوى التربة من العنصر (K) عن ١٣٠ جزءًا فى المليون باختبار الاستخلاص بخلات الأمونيوم، ولكن يتغير الأمر عندما يكون الرى بالتنقيط نظرًا لمحدودية النمو الجذرى والجزء المبتل من التربة، حيث تستجيب الطماطم للتسميد البوتاسى حتى ولو ارتفع محتوى التربة من العنصر عن ٣٠٠ جزء فى المليون.

كما تستجيب الطماطم للتسميد بالزنك عندما يقل مستواه فى التربة عن نصف جزء فى المليون.

تحليل النبات

يفيد تحليل النبات فى تحديد مدى الحاجة للتسميد، ويُبيِّن جدول (٤-٤) تركيز مختلف العناصر الغذائية فى نباتات الطماطم النامية بصورة طبيعية. ويعنى نقص تركيز العناصر عن الحدود المبينة فى الجدول أن النباتات تكون معرضة لظهور أعراض نقص هذه العناصر، وأنه من الضرورى إضافتها ضمن البرنامج التسميدى.

جدول (٤-٤): تركيز مختلف العناصر الغذائية فى نباتات الطماطم النامية بصورة طبيعية (على أساس الوزن الجاف).

العنصر	التركيز العادى، أو مجال التركيز الطبيعى	
	(عن Winsor ١٩٧٣)	(عن Adams ١٩٨٦)
النيتروجين	٤,٨٪	٢,٨ – ٤,٩٪
الفوسفور	٠,٥٪	٠,٤٠ – ٠,٦٥٪
البوتاسيوم	٥,٥٪	٢,٧ – ٥,٩٪
المغنيسيوم	٠,٥٪	٠,٣٦ – ٠,٨٥٪
الكالسيوم	٢,٥٪	٢,٤ – ٧,٢٪
الكبريت	١,٦٪	١,٠ – ٣,٢٪
البورون	٣٥ جزءًا فى المليون	٣٢ – ٩٧ جزءًا فى المليون
الحديد	٩٠ جزءًا فى المليون	١٠١ – ٣٩١ جزءًا فى المليون
المنجنيز	٣٥٠ جزءًا فى المليون	٥٥ – ٢٢٠ جزءًا فى المليون
النحاس	١٥ جزءًا فى المليون	١٠ – ١٦ جزءًا فى المليون
الزنك	٨٠ جزءًا فى المليون	٢٠ – ٨٥ جزءًا فى المليون
الموليبدنم	٠,٥ جزءًا فى المليون	٠,٩ – ١,٠ جزء فى المليون

أما جدول (٤-٥)، فإنه يعطى تفاصيل أكثر عن مستويات عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم التى يجب توفرها فى نباتات أصناف طماطم التصنيع خلال المراحل المختلفة للإزهار والإثمار. يلاحظ من الجدول الانخفاض المستمر فى محتوى النباتات من هذه العناصر – مع تقدمها فى العمر – حتى لو توفرت تلك العناصر بكثرة

للنباتات. ويفيد التحليل المبكر والمستمر للنباتات فى اكتشاف نقص العناصر مبكرًا، وفى تصحيحه بالتسميد المناسب (Sims وآخرون ١٩٧٩).

جدول (٤-٥): تركيز عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم فى أصناف طماطم التصنيع خلال المراحل المختلفة للإزهار والإثمار عند نقص هذه العناصر أو كفايتها أو وفرتها[أ].

مرحلة النمو	العنصر	تركيز العنصر فى حالة		
		النقص	الكفاية	الوفرة
بداية الإزهار	N فى صورة NO_3 – جزء فى المليون	٨٠٠٠	١٠٠٠٠	١٢٠٠٠
	P فى صورة PO_4 – جزء فى المليون	٢٠٠٠	٢٥٠٠	٣٠٠٠
	K - ٪	٣	٤	٦
الثمار الأولى بقطر ٢,٥ سم	N فى صورة NO_3- جزء فى المليون	٦٠٠٠	٨٠٠٠	١٠٠٠٠
	P فى صورة PO_4 جزء فى المليون	٢٠٠٠	٢٥٠٠	٣٠٠٠
	K- ٪	٢	٣	٤
بداية تلون الثمار	N فى صورة NO_3 – جزء فى المليون	٢٠٠٠	٣٠٠٠	٤٠٠٠
	P فى صورة PO_4 – جزء فى المليون	٢٠٠٠	٢٤٠٠	٣٠٠٠
	K- ٪	١	٢	٣

أ- النسيج النباتى المستخدم فى التحليل فى جميع مراحل النمو هو عنق الورقة الرابعة من القمة النامية للنبات.

كما يبين جدول (٤-٦) مستويات الكفاية من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم عند تحليل الأوراق أو أعناق الأوراق على أساس الوزن الجاف، وعند تحليل العصير الخلوى المستخلص من أعناق الأوراق petiole sap، علمًا بأن التحليل الأخير يكون أسرع حيث نحصل على نتائجه فورًا، ولكنه يكون أقل دقة من التحاليل على أساس الوزن الجاف نظرًا لأنه يتوقف على المحتوى الرطوبى بالأوراق (عن: Hartz & Hanson ٢٠٠٥).

جدول (٤-٦): مستويات الكفاية من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم فى الطماطم بمختلف طرق التحليل(Hartz & Hanson ٢٠٠٥).

الجزء النباتى	أساس التحليل	العنصر	مستوى الكفاية	
			عند بداية الإزهار	فى مرحلة الإزهار التام
الأوراق الكاملة	الوزن الجاف	N (٪)	٤,٦- ٥,٢	٣,٥- ٤,٥
		P (٪)	٠,٣٢- ٠,٤٩	٠,٢٥- ٠,٤١
		K (٪)	٢,٢- ٣,٥	١,٦- ٣,١
أعناق الأوراق	الوزن الجاف	النترات (جزء فى المليون)	٨٠٠٠- ١٢٠٠٠	٤٠٠٠- ٨٠٠٠
		الفوسفور (PO_4) (جزء فى المليون)	٣٠٠٠- ٤٠٠٠	٢٥٠٠- ٣٥٠٠
		البوتاسيوم K (٪)	٦- ٨	٤- ٦
أعناق الأوراق	العصير الخلوى	النترات (جزء فى المليون)	٦٠٠- ٩٠٠	٣٠٠- ٦٠٠
		البوتاسيوم K (٪)	٣٠٠٠- ٤٠٠٠	٢٥٠٠- ٣٥٠٠

هذا .. ويرتبط تركيز النيتروجين فى أوراق الطماطم بالنيتروجين الكلى فى النبات (r^2 = ٠,٨٣) ويُعد التركيز فى الأوراق دليلاً يمكن الاعتماد عليه للاستدلال على كفاية النيتروجين طوال موسم الإنتاج. أما النيتروجين النتراتى بأعناق الأوراق فلم يميز جيدًا بين حالتى كفاية ونقص النيتروجين المتاح (Hartz & Bottoms ٢٠٠٩).

وقد أوضح Minotti وآخرون (١٩٨٩) أن نسبة النيتروجين النتراتى فى عنق الورقة إلى نسبته فى كل الورقة كانت ٣ : ١ فى الورقة الثالثة من القمة النامية لنبات الطماطم، وكذلك فى الأوراق الأكبر منها سنًا، ولكن النسبة كانت أعلى من ذلك فى الأوراق الأحدث؛ وبذا .. توصل الباحثون إلى أنه بالإمكان الاعتماد على تحليل الأوراق الكاملة فى التعرف على التغيرات فى محتواها من النيتروجين، بدلاً من الاعتماد على أعناق الأوراق فقط.

كذلك بين Beverly (١٩٩٤) أنه بالإمكان الاعتماد على تحليل العصير الخلوى المستخلص من سيقان بادرات الطماطم فى التعرف على مستوى النيتروجين فيها، حيث كان توفر النيتروجين النتراتى بتركيز لا يقل عن ٥٠٠ ميكرو جرامًا / مل من العصير (حوالى ٥٠٠ جزء فى المليون) كافيًا لمنع التوقف فى نمو البادرات.

وقد أثبتت دراسات Coltman & Riede (١٩٩٢) أن بالإمكان الاعتماد على اختبارات العصير الخلوى السريعة لأعناق أوراق الطماطم فى تقدير مدى حاجتها إلى التسميد البوتاسى. وحصل الباحثان على أعلى محصول صالح للتسويق عندما كان محتوى البوتاسيوم ٥,٩ مجم/ مل من العصير الخلوى.

كما بيّنت دراسات Hochmuth (١٩٩٤) على الطماطم وعديد من محاصيل الخضر الأخرى أن تركيز كل من النيتروجين والبوتاسيوم فى العصير الخلوى لأعناق الأوراق يرتبط ارتباطًا عاليًا مع تركيز كل منهما — على التوالى — فى الأوراق الكاملة. وقد تناقص تركيز كلا العنصرين مع تقدم موسم النمو. هذا .. ولم يتأثر تركيز أى من العنصرين عندما حفظت العينات النباتية المعدة للتحليل فى الثلج لمدة ١٦ ساعة، أو عندما جُمدت لمدة ٢٤ ساعة.

وتبين من دراسات Renner وآخرين (١٩٩٥) أن التركيز الحرج للبوتاسيوم فى الطماطم — الذى يتأثر النمو النباتى سلبيًا إذا انخفض عنه — هو ٢,٣٪ على أساس الوزن الجاف.

برنامج تسميد الطماطم فى الأراضى الصحراوية

تعد جميع الأراضى الصحراوية فقيرة — بطبيعتها — من حيث محتواها من المادة العضوية، والعناصر الغذائية التى تحتاج إليها النباتات، مع انخفاض سعتها التبادلية الكاتيونية بشدة، وارتفاع نفاذيتها للماء بدرجة كبيرة؛ لذا .. فإن نجاح زراعة الخضر فى هذه الأراضى يتوقف على التسميد الجيد الذى يجب أن يراعى فيه ما يلى:

١- الاهتمام بالتسميد العضوى لبناء التربة، وزيادة سعتها التبادلية الكاتيونية وقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة. ويفضل استعمال سماد الدواجن بمعدل ١٠-١٥ م^{3} طنين للفدان، وذلك تجنبًا لتلوث الأرض ببذور الحشائش ومسببات الأمراض. كما يمكن استعمال الكومبوست بمعدل١٥-٢٥ طنًا للفدان (Maynard ١٩٩٥).

٢- رفع معدلات التسميد الكيميائى لتعويض النقص الحاد فى خصوبة التربة.

٣- إعطاء الأسمدة فى جرعات صغيرة على فترات متقاربة لتجنب فقدها بالرشح.

٤- الاهتمام بالتسميد بالعناصر الدقيقة إما فى صورة مخلبية — لكى لا تثبت فى التربة القلوية والجيرية — وإما رشًا على الأوراق.

ونظرًا لأن معظم زراعات الطماطم فى الأراضى الصحراوية تروى بطريقة التنقيط؛ لذا .. فإننا نوجه جُلّ اهتمامنا إلى كيفية التسميد من خلال شبكة الرى بالتنقيط، مع الإشارة إلى كيفية التسميد — عند اتباع طريقتى الرى السطحى والرى بالرش — فى نهاية هذا الجزء.

أولاً: برنامج التسميد عند اتباع طريقة الرى بالتنقيط

١- أسمدة تضاف قبل الزراعة

يضاف السماد العضوى فى فج المحراث (موقع المصاطب فيما بعد) بمعدل ٢٠ — ٣٠ م^{3} من السماد البلدى (سماد الماشية)، والأفضل إضافة ١٥- ٢٠ م^{3} سمادًا بلديا مع نحو ٥ م^{3} من سماد الكتكوت (مخلفات الدواجن). ويفضل — تجنبًا لمشاكل الحشائش والتلوث بالنيماتودا ومسببات الأمراض- عدم إضافة أية أسمدة بلدية، مع استعمال نحو ١٥- ٢٠ م^{3} من سماد الكتكوت للفدان.

ويضاف إلى السماد العضوى — قبل إقامة المصاطب — مخلوط من الأسمدة الكيميائية، كما يلى:

العنصر	صورة العنصر	الكمية (كجم)	السماد المفضل
النيتروجين	N	٢٠	سلفات النشادر
الفوسفور	P_2O_5	٣٠	السوبر فوسفات
البوتاسيوم	K_2O	٢٠	سلفات البوتاسيوم
المغنيسيوم	MgO	٥	سلفات المغنيسيوم
الكبريت	S	٥٠	كبريت زراعى

يكون الهدف الأساسى من إضافة الكبريت خفض pH التربة فى منطقة نمو الجذور، وليس التسميد بالكبريت؛ نظرًا لأن النبات يحصل على حاجته من عنصر الكبريت من مختلف الأسمدة السلفاتية، ومن السوبر فوسفات، والجبس الزراعى، وبعض المبيدات.

وتفيد إضافة الأسمدة الآزوتية بطيئة الذوبان والتيسر Slow Release Fertilizers فى تقليل فقد النيتروجين بالرشح (Cook & Sanders ١٩٩١).

٢- أسمدة عناصر أولية تضاف مع مياه الري بعد الزراعة

أ- كميات الأسمدة:

يستمر تسميد الطماطم بعد الشتل بالعناصر الأولية، وهى النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم. ويسمد الفدان الواحد بنحو ١٠٠ – ١٢٠ كجم نيتروجينًا (N)، و٣٠ كجم فوسفورًا (P_2O_5)، و٨٠– ١٠٠ كجم بوتاسيوم (K_2O).

هذا .. وتحصل النباتات على كميات إضافية من النيتروجين من حامض النيتريك الذى قد يستخدم بتركيز منخفض فى إذابة الأملاح التى تسد النقاطات، أو لإذابة سلفات البوتاسيوم، ومن نترات الجير أو نترات الكالسيوم التى قد تستخدم كمصدر إضافى للكالسيوم، إلا أن الكمية الكلية المضافة بهذه الطرق لا تتجاوز حوالى ٢٥ كجم للفدان.

ب- توقيت بداية التسميد:

يعمد الكثيرون إلى تأخير بداية التسميد إلى حين مرور أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع على الشتل اعتمادًا على ما يتوفر فى التربة من أسمدة سبقت إضافتها قبل الزراعة، وربما محاكاة لما يكون عليه الحال فى الأراضى الثقيلة، إلا أن الجذور لا تصل إلى هذه الأسمدة قبل مرورة أسبوعين على الشتل؛ وبذا .. فهى لا تستفيد منها خلال تلك الفترة، كما أن الأراضى الصحراوية تعد فقيرة جدا فى محتواها من العناصر الغذائية إذا ما قورنت بالأراضى الثقيلة؛ ولذا .. فإن التسميد يجب أن يبدأ فى الأراضى الصحراوية بمجرد معاودة النباتات لنموها، ويكون ذلك – عادة – بعد نحو ٣- ٧ أيام من الشتل.

ج- اختيار الأسمدة المناسبة:

(١) الأسمدة الآزوتية:

تستخدم اليوريا ونترات الأمونيوم (بنسبة ١: ١) كمصدر النيتروجين خلال الشهر الأول بعد الزراعة، ثم تستخدم نترات الأمونيوم منفردة، أو بالتبادل مع سلفات الأمونيوم بعد ذلك. ولا يوصى بالتسميد باليوريا إذا ارتفعت حرارة الجو عن ٢٥°م. ويذكر Nicoulaud & Bloom (١٩٩٦) أن بالإمكان رش النباتات باليوريا – يوميًا – بتركيز ٠,٢٪؛ بهدف توفير علاج سريع لحالات نقص الآزوت؛ نظرًا لسرعة امتصاصها ووصولها إلى جميع أجزاء النبات فى خلال ٢٤ ساعة من عملية الرش.

وعلى الرغم من أنه يوصى دائمًا باستعمال المصادر الامونيومية للنيتروجين – لأنها أرخص ثمنًا ولا تتعرض للفقد مع مياه الصرف مثلما تتعرض المصادر النتراتية للنيتروجين – إلا أن تحقيق ذلك يتطلب سعة تبادلية كاتيونية عالية فى التربة، وهو ما لا يتوفر فى الأراضى الرملية.

(٢) الأسمدة الفوسفاتية:

يستخدم سوبر فوسفات الكالسيوم العادى أو السوبر فوسفات الثلاثى كمصدر للفوسفور فى حالة التسميد الأرضى، بينما يستخدم حامض الفوسفوريك فى حالة

التسميد مع ماء الرى، حيث تقل فرصة تثبيت الفوسفور المضاف إليه، لأن حامض الفوسفوريك يعمل على خفض pH ماء الرى؛ الأمر الذى يمنع ترسيب الفوسفور حتى مع وجود الكالسيوم فى ماء الرى.

وعلى الرغم من أن الفوسفور المضاف مع مياه الرى يبقى فى التربة قريبًا من النقاطات — مما يعنى عدم تعرض كل المجموع الجذرى للنبات إلى الفوسفور المضاف — إلا أن ذلك يكون كافيًا لقيام النباتات بامتصاص حاجتها من العنصر.

(٣) الأسمدة البوتاسية:

تستخدم سلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم. وإذا وجدت صعوبة فى إذابتها فى مياه الرى فإنه يحسن خلطها جيدًا مع حامض النيتريك التجارى (المخفف بالماء) بنسبة ٤ من السماد إلى ١ من الحامض التجارى. يترك المخلوط يومًا كاملاً إلى أن تترسب كل الشوائب المختلطة بسماد سلفات البوتاسيوم، ثم يؤخذ الرائق للتسميد به.

وإذا لم يتوفر حامض النيتريك لإذابة سلفات البوتاسيوم فإنه يمكن استعمال حامض الكبريتيك التجارى المركز فى تحضير محلول سمادى يحتوى على كل من النيتروجين والبوتاس (K_2O) بنسبة ١ : ١,٥ (وهى النسبة المناسبة للتسميد بها ابتداء من الأسبوع التاسع بعد الشتل وإلى قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو أسبوعين) مع إضافة الفوسفور — بالنسبة المرغوبة — إلى هذا المخلوط ليصبح سمادًا كاملاً، ويجرى ذلك على النحو التالى:

- يضاف ٢٠ لترًا من حامض الكبريتيك المركز إلى برميل يتسع لنحو ٢٠٠ لترًا، ويحتوى على ٦٠ لترًا من الماء. تكون إضافة الحامض إلى الماء بصورة تدريجية، وببطء شديد، مع التقليب المستمر، ويحظر إجراء العكس (أى يحظر إضافة الماء إلى الحامض المركز)؛ لما ينطوى عليه ذلك من خطورة على القائمين بهذه العملية.
- يضاف ٥٠كجم من نترات النشادر إلى الحامض المخفف مع التقليب المستمر.

• يضاف إلى المحلول المتكون ٥٠ كجم من سلفات البوتاسيوم مع التقليب المستمر.

• يضاف إلى المحلول الناتج ٣/٤ — ١,٥ لتر من حامض الفوسفوريك مع التقليب المستمر، علمًا بأن الكمية المستعملة منه تقل تدريجيًّا إلى أن تصل إلى الحد الأدنى (٣/٤ لتر) قرب انتهاء موسم الحصاد.

• يضاف الماء لإكمال حجم المحلول الناتج إلى ٢٠٠ لتر.

• تكشط الرغوة والأملاح التى تتجمع على سطح المخلوط.

يكفى المحلول السمادى الناتج من هذه العملية لتسميد فدان من الطماطم بعناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم لمدة حوال ١٥ يومًا، وقد تستعمل لتسميد ١٥ فدانًا لمدة يوم واحد .. وهكذا.

أما إذا لم يرغب المنتج فى إجراء ما تقدم بيانه فإنه يفضل استعمال أحد الأسمدة السائلة كمصدر للبوتاسيوم.

وبالنظر إلى أن ما يوجد فى هذه الأسمدة من عنصر البوتاسيوم يكون جاهزًا لامتصاص النبات مباشرة، ولا يفقد منه شيء؛ لذا.. يمكن — عند استخدامها — خفض كمية البوتاسيوم (K_2O) الموصى بها إلى النصف؛ فيستعمل منها ما يكفى لإضافة نحو ٤٠ — ٥٠ كجم من K_2O للفدان مع ماء الرى، بالإضافة إلى الـ ٢٠ كجم الأخرى التى تضاف فى باطن الخط قبل الزراعة.

وحتى إذا استعملت سلفات البوتاسيوم فى التسميد فإن إضافة جزء من البوتاسيوم فى صورة سماد بوتاسيوم سائل يعد أمرًا مرغوبًا فيه؛ ولذا.. يوصى بالتسميد بنحو لتر من أحد هذه الأسمدة البوتاسية السائلة ابتداء من الأسبوع السابع بعد الشتل، مع تخفيض الكمية المستعملة منها — تدريجيًّا — ابتداء من الأسبوع الخامس عشر بعد الشتل.

د- توزيع كميات الأسمدة على موسم النمو:

توزع كميات عناصر النيتروجين والفوسفور، والبوتاسيوم المخصصة للمحصول على النحو التالي:

(١) يزداد معدل التسميد بالنيتروجين تدريجيًّا إلى أن يصل إلى أقصى معدل له قبل منتصف النمو، أو عند الإزهار وبداية مرحلة الإثمار، ويبقى عند هذا المستوى المرتفع لمدة حوالى ستة أسابيع، ثم تتناقص الكمية التي يسمد بها تدريجيًّا إلى أن يتوقف التسميد بالنيتروجين نهائيًّا قبل الحصاد بنحو أسبوعين.

وعادة .. يبدأ برنامج التسميد الآزوتي بنحو ٣- ٤ كجم من النيتروجين أسبوعيًا ابتداء من الأسبوع الثاني بعد الشتل. مع زيادة الكمية المضافة منه - تدريجيًّا - إلى أن تصل إلى حوالى ٨ - ١٠ كجم نيتروجينًا أسبوعيًّا في الأسبوع التاسع من الشتل، وتستمر على هذا المستوى المرتفع حتى الأسبوع الرابع عشر بعد الشتل، حيث تتناقص كمية النيتروجين المضافة بعد ذلك - تدريجيًّا إلى أن تصل إلى نحو ٥ كجم أسبوعيًّا في الأسبوع الثامن عشر بعد الشتل، ثم يتوقف التسميد الآزوتي - تقريبًا - بعد ذلك.

(٢) يزداد معدل التسميد بالفوسفور سريعًا بعد الزراعة إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد انقضاء نحو ربع موسم النمو، ويبقى عند هذا المستوى المرتفع لمدة حوالى ستة أسابيع، ثم تتناقص الكمية المضافة منه تدريجيًّا إلى أن يتوقف التسميد بالفوسفور نهائيًّا قبل انتهاء الحصاد بنحو ثلاثة أسابيع.

وعادة .. يبدأ برنامج التسميد الفوسفاتي بنحو ٥٠٠ مل (سم٣) من حامض الفوسفوريك أسبوعيًّا ابتداء من الأسبوع الثاني بعد الشتل، مع زيادة الكمية المستعملة منه - تدريجيًّا - إلى أن تصل إلى حوالى لترين أسبوعيًّا ابتداء من الأسبوع السابع بعد الشتل، وتستمر على هذا المستوى المرتفع حتى الأسبوع الثاني عشر بعد الشتل، حيث تتناقص الكمية المضافة منه تدريجيًّا - بعد ذلك - إلى أن تصل إلى حوالى ٣٠٠ مل فقط أسبوعيًّا في الأسبوع الثامن عشر بعد الشتل، ثم يتوقف التسيد الفوسفاتي - تقريبًا - بعد ذلك.

(٣) يزداد معدل التسميد بالبوتاسيوم ببطء إلى أن يصل إلى أقصى معدل له فى بداية مرحلة الإثمار، ويبقى على هذا المستوى المرتفع لمدة حوالى أربعة أسابيع، ثم تتناقص الكمية المضافة منه تدريجيًا إلى أن يتوقف التسميد بالبوتاسيوم تمامًا قبل انتهاء الحصاد بنحو أسبوع أو أسبوعين.

وعادة .. يبدأ برنامج التسميد البوتاسى بنحو ١- ١,٥ كجم بوتاس (K_2O) أسبوعيًا ابتداء من الأسبوع الثانى بعد الشتل، مع زيادة الكمية المضافة منه — تدريجيًا — إلى أن تصل إلى حوالى ١٢ — ١٥ كجم بوتاس أسبوعيًا فى الأسبوع الحادى عشر بعد الشتل، وتستمر على هذا المستوى المرتفع حتى الأسبوع الخامس عشر، حيث تتناقص كمية البوتاس المضافة تدريجيًا بعد ذلك إلى أن تصل إلى نحو ٣- ٤ كجم فقط أسبوعيًا فى الأسبوع الثامن عشر، وقد يستمر التسميد البوتاسى على هذا المستوى المنخفض لمدة أسبوعين آخرين بعد ذلك.

ونقدم — فيما يلى — برنامجًا مقترحًا لتسميد الطماطم بالعناصر الأولية خلال مختلف مراحل النمو النباتى، ليس لتطبيقه، وإنما للاسترشاد به فى تحديد الكميات الفعلية التى تجب إضافتها من مختلف العناصر الغذائية، والتى تتوقف على عوامل كثيرة، منها: الصنف وقدرته الإنتاجية، ودرجة الحرارة السائدة... إلخ.

مرحلة النمو	العنصر السمادى (كجم يوميًا / فدان)		
	N	P_2O_5	K_2O
من الشتل إلى بداية الإزهار	٠,٤	٠,٤	٠,٤
من بداية الإزهار إلى بداية العقد	١,٠	٠,٨	١,٠
من العقد إلى بداية القطف	١,٧	٠,٨	٣,٠
من بداية القطف إلى نهاية الحصاد	١,٢	٠,٦	٢,٥

هـ- نظام إضافة الأسمدة البسيطة والمركبة:

تحسب الكمية اللازمة من جميع الأسمدة لكل أسبوع من موسم النمو، حسب مرحلة النمو النباتى. وقد تضاف كميات الأسمدة المخصصة لكل أسبوع على دفعتين أو ثلاث دفعات، ولكن يفضل أن يتم التسميد مع ماء الرى بالتنقيط ست مرات أسبوعيًا،

بينما يخصص اليوم السابع للرى بدون تسميد. وتوزع الأسمدة المخصصة لكل أسبوع على أيام التسميد الستة بأحد النظم التالية:

(١) تخلط جميع الأسمدة المخصصة لليوم الواحد ويسمد بها مجتمعة، وهذا هو النظام المفضل.

(٢) يُخَصَّصُ يومان للتسميد الآزوتى، ثم يوم للتسميد الفوسفاتى والبوتاسى.. وهكذا.

(٣) تخصص ثلاثة أيام منفصلة للتسميد الآزوتى، والفوسفاتى، والبوتاسى، ثم تعاد دورة التسميد.. وهكذا.

ولكن يراعى عند التسميد مع ماء الرى — بصورة عامة — عدم الجمع بين أى من أيونى الفوسفات أو الكبريتات وأيون الكالسيوم، لكى لا يترسبا بتفاعلهما مع الكالسيوم.

ويمكن — فى حالة التسميد مع ماء الرى بالتنقيط — استبدال الأسمدة التقليدية بالأسمدة المركبة السائلة، أو السريعة الذوبان إذا كان استخدامها اقتصاديًّا، ويتوقف تركيب السماد المستخدم على مرحلة النمو النباتى، حيث يمكن استعمال سماد تركيبه ١٩-٦-٦ خلال الربع الأول من حياة النبات، يستبدل بسماد تركيبه ٢٠-٥-١٥ خلال الربع الثانى من موسم النمو، ثم بسماد تركيبه ١٥-٥-٣٠ إلى ما قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو أسبوعين.

يكون استخدام هذه الأسمدة بكميات تفى بحاجة النباتات من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم. وكما سبق أن أوضحنا فإن العناصر الغذائية فى تلك الأسمدة تكون جاهزة لامتصاص النبات مباشرة، ولا يفقد منها شىء. ولذا.. يمكن — عند استخدامها — خفض كمية عنصرى النيتروجين، والبوتاسيوم الموصى بهما إلى النصف، فيصبحان ٥٠- ٦٠ كجم نيتروجينًا، و٤٠- ٥٠ كجم K_2O للفدان. أما الفوسفور؛ فتبقى الكمية الموصى بها بعد الزراعة — وهى ٣٠ كجم — كما هى، نظرًا لأن التسميد المنفرد بالفوسفور يكون بحامض الفوسفوريك الجاهز للامتصاص السريع على أية حال.

ويكفي — عادة — نحو كيلو جرام واحد (أو لتر واحد) من تلك الأسمدة المركبة للفدان يوميًا، ثم تزداد الكمية تدريجيًّا إلى أن تصل إلى نحو ٣ — ٤ كجم يوميًا في منتصف موسم النمو، تتناقص مرة أخرى — تدريجيًّا — إلى أن تصل إلى كيلو جرام واحد للفدان يوميًّا — مرة أخرى — قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو أسبوعين.

وكما في حالة التسميدة بالأسمدة التقليدية.. يلزم تخصيص يوم واحد، أو يومين أسبوعيًا للرى بدون تسميد؛ بهدف خفض تركيز الأملاح في منطقة نمو الجذور.

ونظرًا لأن غسيل الأسمدة من التربة يمكن أن يحدث عند الرى بالتنقيط؛ لذا .. فإن الأسمدة المضافة في أية رية يجب ألا تتعرض إلى رى زائد لا في نفس الرية ولا في الريات التالية. وتزيد فرصة احتمال غسيل الأسمدة عند زيادة فترة الرية الواحدة عن الساعة ونصف الساعة.

٢- أسمدة عناصر كبرى أخرى تضاف بعد الزراعة

إن أهم العناصر الكبرى الأخرى — بخلاف عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم — هي عناصر الكبريت، والمغنيسيوم، والكالسيوم.

أ- الكبريت:

يحصل النبات على حاجته من عنصر الكبريت أساسًا من الكبريت المضاف إلى التربة قبل الزراعة، ومن كبريتات الأمونيوم، وكبريتات البوتاسيوم، وسوبر فوسفات الكالسيوم، والجبس الزراعي (الذى قد يستعمل بغرض خفض pH التربة)، بالإضافة إلى ما يوجد من كبريت بالأسمدة الورقية، وبعض المبيدات. ولا توجد حاجة إلى أية إضافات أخرى من هذا العنصر.

ب- المغنيسيوم:

يحصل النبات على حاجته من المغنيسيوم من سلفات المغنيسيوم التي تضاف قبل الزراعة، بالإضافة إلى ما يتوفر من العنصر في الأسمدة المركبة، سواء تلك التي تستخدم

فى مد النبات بحاجته من العناصر الأولية (النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم) أم الأسمدة الورقية؛ لذا .. لا يحتاج الأمر إلى مزيد من التسميد بالمغنيسيوم إلا إذا لم يكن قد سمد المحصول بالعنصر قبل الزراعة، أو إذا ظهرت أعراض نقص المغنيسيوم، ويلزم – حينئذ – إضافة كبريتات المغنيسيوم بمعدل كيلو جرام واحد للفدان إما رشًا، وإما مع ماء الرى بالتنقيط، مع تكرار المعاملة أسبوعيا إلى أن تختفى أعراض نقص العنصر، أو كل أسبوعين طوال موسم النمو.

ج- الكالسيوم:

يحصل النبات على معظم حاجته من الكالسيوم من سوبر فوسفات الكالسيوم، ومن الجبس الزراعى الذى قد تعامل به التربة، بالإضافة إلى ما يتوفر من العنصر فى الأسمدة المركبة بنوعيها، إلا أن الطماطم تحتاج إلى مزيد من التسميد بالكالسيوم لكى لا تتعرض ثمارها للإصابة بتعفن الطرف الزهرى، وهو عيب فسيولوجى يظهر عند نقص كمية عنصر الكالسيوم التى تصل إلى الثمار.

ويستخدم فى مصر رائق سماد نترات الجير المصرى (عبود) لتزويد الطماطم بعنصر الكالسيوم مع ماء الرى بالتنقيط، لكن يفضل استخدام سماد نترات الكالسيوم النقى عند توفره. ويشترط فى كلتا الحالتين عدم احتواء مياه الرى على كمية كبيرة من الفوسفات أو الكبريتات.

ويكون استعمال أى من السمادين (نترات الجير المصرى أو نترات الكالسيوم النقية) بمعدل ١٥- ٢٠ كجم أسبوعيا، ابتداء من بداية مرحلة عقد الثمار ولمدة ستة أسابيع.

ونظرًا للتوقيت الحرج لإضافة هذا السماد – والذى لا يكون فيه النمو الخضرى الغزير أمرًا مرغوبًا فيه – يفضل خصم كميات النيتروجين التى تضاف فى صورة نترات مع الكالسيوم – والتى تبلغ نسبتها فى كلا السمادين ١٥٪ – من كميات السماد الآزوتى المقرر إضافتها – خلال تلك الفترة فى برنامج التسميد.

ومتى كان هناك تسميد بالكالسيوم، فإنه يتعين إضافة الأسمدة مع ماء الرى فى مجموعتين منفصلتين، حيث تضم إحداهما الأسمدة المحتوية على الكالسيوم، بينما تشتمل الأخرى على الأسمدة التى تحتوى على أيونى الفوسفات أو الكبريتات، لكى لا يترسبا بتفاعلهما مع الكالسيوم.

ويمكن استخدام سماد نترات الكالسيوم النقى، أو رائق نترات الجير المصرى رشًا بتركيز ١,٥– ٣ جم/ لتر؛ لإمداد النبات بعنصر الكالسيوم اللازم لوقف انتشار ظاهرة تعفن الطرف الزهرى فى الطماطم، مع الاهتمام بتوجيه محلول الرش إلى الثمار، بالإضافة إلى الأوراق.

٤- أسمدة العناصر الصغرى

إن أهم العناصر الصغرى التى يلزم تسميد نباتات الخضر بها فى الأراضى الصحراوية هى: الحديد، والزنك، والمنجنيز، والنحاس.. وهى العناصر التى تثبت فى صورة غير ميسرة لامتصاص النبات فى الأراضى القلوية. يتبقى بعد ذلك من العناصر الصغرى عنصران: البورون، وهو يثبت مع ارتفاع رقم pH التربة حتى ٨,٥، ثم يزداد تيسره كثيرًا بعد ذلك، والموليبدنم وهو لا يثبت فى الأراضى القلوية. ونجد – بصفة عامة – أن الأراضى الصحراوية ينخفض محتواها من العناصر الصغرى كما هى الحال بالنسبة للعناصر الكبرى.

وبناء على ما تقدم .. فإن محاصيل الخضر تستجيب للتسميد بالعناصر الصغرى فى الأراضى القلوية، ولكن عناصر الحديد، والزنك والمنجنيز والنحاس تتعرض للتثبيت إذا كانت إضافتها عن طريق التربة، أو مع ماء الرى، حيث تبقى بالقرب من النقاطات نظرًا لأن جميع الأراضى الصحراوية قلوية. ولذا.. فإنه لا يفضل إضافة هذه العناصر عن طريق التربة إلا فى صورة مخلبية، كما أن ملح الكبريتات لهذه العناصر يمكن إضافته بطريقة الرش بمعدل ١– ١,٥ كجم مع ٤٠٠ لتر ماء للفدان. وإذا استخدمت الصور المخلبية لهذه العناصر رشًا على الأوراق فإنها تستعمل بمعدل ٠,٢٥– ٠,٥٠ كجم فى

٤٠٠ لتر ماء للفدان. أما البورون فإنه يضاف دائمًا فى صورة معدنية على صورة بوراكس إما عن طريق التربة بمعدل ٥– ١٠ كجم للفدان، وإما رشًا على الأوراق بمعدل ١– ٢,٢٥ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

هذا .. ويمكن استبدال الأسمدة المفردة — التى سبق ذكرها — بالأسمدة المركبة وهى كثيرة جدًا، ويبدأ الرش بها بعد الشتل بنحو ثلاثة أسابيع، ثم يستمر كل ٢– ٣ أسابيع إلى ما قبل نهاية الحصاد بنحو ثلاثة أسابيع. وتفيد إضافة اليوريا إلى محلول العناصر الدقيقة — بتركيز ٠,١٪ — فى زيادة معدل امتصاص النباتات من هذه العناصر.

ومتى توفرت العناصر الدقيقة فى صورة مخلبية فإنه يكون من الأسهل — والأفضل — إضافتها عن طريق مياه الرى. ويحتاج الفدان — عادة — إلى نحو ٢ — ٣ لترات من أسمدة العناصر الدقيقة المخلبية تجزأ على دفعات متساوية كل ثلاثة أسابيع، مع بداية التسميد بها بعد الشتل بنحو أسبوعين، وعلى ألا تزيد كمية السماد المستعملة فى كل مرة عن ٣٠٠ مل (سم^3). ويفضل استعمال السماد على دفعات أسبوعية مع مياه الرى، تبدأ بنحو ١٠٠ مل بعد الشتل مباشرة، وتزداد تدريجيًا إلى أن تصل إلى ٣٠٠ مل ابتداء من الأسبوع السابع بعد الشتل، وتستمر على هذا المستوى المرتفع حتى الأسبوع الرابع عشر بعد الشتل، لتنخفض بعد ذلك تدريجيًا إلى أن تصل إلى نحو ١٥٠ مل فى الأسبوع الثامن عشر بعد الشتل.

ثانيًا: برنامج التسميد عند اتباع طريقة الرى بالغمر أو بالرش

يؤخذ فى الاعتبار عند تسميد الطماطم فى الأراضى الصحراوية — عند اتباع طريقتى الرى بالغمر أو بالرش — كل ما أسلفنا بيانه عند التسميد فى حالة الرى بالتنقيط، ولكن مع ملاحظة الأمور التالية:

١– زيادة التسميد السابق للزراعة من الفوسفور إلى ٤٥ كجم P_2O_5 للفدان، مع انقاص الكمية المستخدمة منه — بعد الزراعة — إلى ١٥ كجم P_2O_5 للفدان.

٢– لا يكون لمعدل ذوبان الأسمدة فى الماء أهمية تذكر عند اتباع طريقة الرى بالغمر؛ ولذا .. فإن سماد سوبر فوسفات الكالسيوم يستعمل – فى هذه الحالة – بدلاً من حامض الفوسفوريك بعد الزراعة.

أما عند اتباع طريقة الرى بالرش، فإن معدل ذوبان الأسمدة يبقى أمرًا له أهميته عند اختيار الأسمدة المناسبة للاستعمال؛ ولهذا السبب فإن حامض الفوسفوريك يستعمل كمصدر للفوسفور بعد الزراعة، ولكن مع خفض الكمية المستخدمة منه لما يكفى لإمداد النباتات بنحو ١٥ كجم P_2O_5 للفدان؛ لكى يبقى تركيز الحامض منخفضًا فى مياه الرى وفى مستوى لا يؤيدى إلى تآكل الأجزاء المصنوعة من البرونز والنحاس فى جهاز الرش.

٣– تحسب الكمية اللازمة من جميع الأسمدة لكل أسبوع من موسم النمو – حسب مرحلة النمو النباتى – ثم تضاف بالكيفية التالية:

أ– فى حالة الرى بالغمر:

تخلط الأسمدة معًا وتضاف تكبيشًا إلى جانب النباتات، وعلى مسافة حوالى ٧ سم من قاعدتها. وتكون إضافة الأسمدة على فترات أسبوعية أو كل أسبوعين.

ب– فى حالة الرى بالرش:

تخلط الأسمدة معًا وتضاف إما نثرًا حول النباتات، وإما مع ماء الرى، ويكون التسميد مع ماء الرى بالرش بنفس الكيفية التى تتبع عن الرى بالتنقيط.

ويوصى – فى حالة الرغبة فى التسميد مع ماء الرى بالرش – أن يكون ذلك فى النصف الثانى من حياة النبات بعد أن تنتشر الجذور وتشغل نسبة كبيرة من مساحة الحقل، وأن يتم إدخال السماد فى نظام الرى بالرش بطريقة تسمح بتشغيل جهاز الرى أولاً بدون سماد لمدة تكفى لبل سطح التربة، وبل أوراق النبات، وإلا فُقِدَ السماد بتعمقه فى التربة مع ماء الرى، يلى ذلك إدخال السماد مع ماء الرى لمدة تكفى لتوزيعه بطريقة متجانسة فى الحقل، ويعقب ذلك الرى بالرش بدون تسميد لمدة ١٥ دقيقة؛ والغرض

من ذلك هو غسل السماد من على الأوراق، والتخلص من آثاره في كل جهاز الرى بالرش، كما يساعد هذا الإجراء على تحريك السماد في التربة.

٤- يمكن استخدام سماد نترات الجير (عبود) كمصدر رئيسى للتسميد بالكالسيوم والنيتروجين. يضاف السماد عن طريق التربة — تكبيشًا — إلى جانب النباتات على ٤ دفعات نصف شهرية، تبدأ عند بداية الإزهار، بمعدل ٢٥ كجم للفدان في كل مرة. وقد يفيد الرش بنترات الكالسيوم النقية (وهى سريعة الذوبان في الماء) في سد حاجة النبات السريعة إلى عنصر الكالسيوم، وهى تستخدم بمعدل ٢,٥ كجم في ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

٥- يمكن — كذلك — استخدام رائق السوبر فوسفات العادى مع إضافته رشًا على النباتات (وليس مع ماء الرى بالرش) بتركيز ٠,٥- ٢,٠ جم/ لتر حسب حاجة النبات، مع تكرار الرش كل أسبوعين حسب الحاجة. كما يمكن استخدام التربل سوبر فوسفات بدلاً من السوبر فوسفات العادى، ولكن بنحو ثلث التركيز المستخدم من السوبر فوسفات العادى.

٦- كما يمكن استخدام رائق سلفات البوتاسيوم بتركيز ١,٥- ٢,٥ جم/لتر رشًا على الأوراق خلال مرحلة نضج الثمار.

برنامج تسميد الطماطم في الأراضى الثقيلة

نظرًا لأن معظم زراعات الطماطم في الأراضى الثقيلة تروى بطريقة الغمر؛ فإننا نوجه جُلَّ اهتمامنا إلى كيفية التسميد عند الرى بالغمر، مع الإشارة إلى كيفية التسميد — عند اتباع طريقتى الرى بالتنقيط والرى بالرش — في نهاية هذا الجزء.

أولاً: برنامج التسميد عند اتباع طريقة الرى بالغمر

يخصص لكل فدان من الطماطم كميات الأسمدة التالية:

١- حوالى ٢٠- ٣٠ م^3 من السماد البلدى (سماد الماشية)، أو نحو ١٥- ٢٠ م^3 سمادًا بلديًا مع ٥م^3 من سماد الكتكوت (مخلفات الدواجن). قد تضاف كل الكمية عند

تجهيز الأرض بعد الحرثة الأولى، أو قد تقسم إلى دفعتين متساويتين تضاف إحداهما عند تجهيز الأرض، بينما تضاف الثانية بعد نحو شهر من الشتل فى قناة المصطبة، ثم يُردَّم عليها فى العزقة الأولى.

٢- من ٤٥- ٦٠ كجم وحدة فوسفور (P_2O_5)، مع إضافة الحد الأقصى عند زراعة الهجن. يستعمل السوبر فوسفات العادى أو السوبر فوسفات الثلاثى كمصدر للفوسفور. قد تضاف كل كمية السماد المخصصة للفدان نثرًا مع السماد العضوى عند تجهيز الأرض بعد الحرثة الأولى، ولكن يفضل تقسيمها إلى دفعتين متساويتين، تضاف إحداهما عند تجهيز الأرض، بينما تضاف الثانية بعد نحو شهر من الشتل فى قناة المصطبة، ثم يُردم عليها فى العزقة الأولى.

٣- من ١٠٠ — ١٢٠ كجم نيتروجينًا (N)، مع إضافة الحد الأقصى عند زراعة الهجن. تستعمل اليوريا كمصدر للنيتروجين فى بداية حياة النبات وفى الجو البارد، وتستعمل سلفات الأمونيوم فى الدفعات الأولى للاستفادة من تأثيرها الحامضى، ويفضل استعمال نترات الأمونيوم خلال مراحل الإزهار وعقد الثمار، واستعمال نترات الجير المصرى (عبود) خلال المراحل الأولى لعقد الثمار؛ لتوفير الكالسيوم الذى يحتاجه النبات خلال تلك المرحلة؛ لتجنب إصابة الثمار بتعفن الطرف الزهرى.

ونظرًا لسهولة فقد النيتروجين من التربة؛ فإنه يتعين إضافة الكمية المخصصة للفدان فى ثلاث دفعات بمعدل ٣٠- ٣٥، و٣٥- ٤٠، و٣٥- ٤٥ كجم N للفدان بعد حوالى ٤، و٧، و ١٠ أسابيع من الزراعة، مع الترديم عليها أثناء العزيق، ويراعى إضافة الحد الأقصى — فى كل موعد — عند زراعة الهجن.

٤- من ٦٠ — ٨٠ كجم وحدة بوتاسيوم (K_2O) للفدان، مع إضافة الحد الأقصى عند زراعة الهجن. تستعمل سلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم، وتفضل إضافة الكمية المخصصة للفدان فى ثلاث دفعات — مع النيتروجين — ولكن بمعدل ١٥ -٢٠، و٢٠- ٢٥، و٢٥- ٣٥ كجم K_2O للفدان فى الدفعات الثلاث على التوالى.

وبذا .. تكون الكميات المستعملة للفدان من مختلف الأسمدة، ومواعيد إضافتها على النحو التالى:

الموعد	السماد البلدى (م٣)	سماد الكتكوت (م٣)	P_2O_5 (كجم)	N (كجم)	K_2O (كجم)
بعد الحرثة الأولى	٧,٥–١٠	٢,٥	٢٢,٥–٣٠	–	–
بعد ٤ أسابيع من الشتل	٧,٥–١٠	٢,٥	٢٢,٥–٣٠	٣٠–٣٥	١٥–٢٠
بعد ٧ أسابيع من الشتل	–	–	–	٣٥–٤٠	٢٠–٢٥
بعد ١٠ أسابيع من الشتل	–	–	–	٣٥–٤٥	٢٥–٣٥
الإجمالى	١٥–٢٠	٥	٤٥–٦٠	١٠٠–١٢٠	٦٠–٨٠

وبالإضافة إلى الأسمدة التى تقدم بيانها .. فإن نباتات الطماطم تعطى ثلاث رشات بأسمدة العناصر الصغرى الورقية بعد نحو ٤، و ٧، و١٠ أسابيع من الشتل. يتراوح تركيز محلول الرش — عادة — بين ٠,١٪، و٠,١٥٪، ويلزم للفدان حوالى ٢٠٠، و٣٠٠، و٤٠٠ لتر من محلول الرش فى الرشات الثلاث على التوالى.

ثانيا: برنامج التسميد عند اتباع طريقة الرى بالتنقيط أو بالرش

عند رى الطماطم فى الأراضى الثقيلة بطريقة التنقيط، أو بالرش فإن النباتات تعطى برنامجاً للتسميد يتساوى — من حيث كميات العناصر السمادية المستعملة — مع الكميات المستعملة فى حالة الرى بالغمر فى الأراضى الثقيلة، ويتشابه — من حيث نوعيات الأسمدة المستخدمة، ومواعيد وطرق إضافتها — مع ما سبق بيانه بالنسبة لهذه الأمور فى حالتى الرى بالتنقيط وبالرش — على التوالى — فى الأراضى الصحراوية. هذا .. ويمكن فى حالة الرى بالرش — إضافة الأسمدة المقرر إضافتها إلى التربة مباشرة (وليس مع مياه الرى) فى عدد أقل من الدفعات، كما فى حالة الرى بالغمر. أما فى حالة إضافة الأسمدة مع مياه الرى بالرش فلا بد من الاستمرار فى توزيعها على عدة دفعات، لكى تكون بتركيزات منخفضة لا تحدث ضرراً للنباتات.

الفلفـل

يستجيب الفلفل للتسميد الآزوتى المناسب، ذلك لأن النباتات يجب أن تنمو مبكرة وبصورة جيدة بعد الشتل، وإلا فإنها تبدأ فى الإزهار وعقد الثمار وهى مازالت صـغيرة، ويؤدى ذلك إلى ضعف نمو النباتات فـلا تـصل إلى الحجـم المناسـب الـذى يلـزم لإعطـاء محصول جيد.

العناصر الغذائية، وأهميتها، واحتياجات نبات الفلفل منها

النيتروجين

يؤدى نقص النيتروجين إلى ضعف نمـو النباتـات وتقزمهـا، واصـفرار الأوراق، مـع ظهور بعض الاصفرار فى الثمار الخـضراء، وضـعف العقـد، وقلـة عـدد الثمـار المنتجـة، ونقص المحصول. وعلى الرغم من تناسب المحصول طرديًّا مع زيـادة التـسميد الآزوتـى، فإن زيادته عن اللازم يؤدى إلى نقص المحصول المنتج. حدث ذلـك عنـد زيـادة مـستوى التـسميد الآزوتـى عـن ١٣٥ كجـم نيتروجينًـا للـهكتار (٥٨ كجـم للفـدان) فـى إحـدى الدراسات، وعن ٣٣٦ كجم للهكتار (١٤١ كجـم للفدان) فـى دراسـة أخـرى. ويتوقـف الأمر على عوامل كثيرة من أهمها خصوبة التربة، والصنف، وطريقة التسميد...إلخ.

وقد تراوح المدى الطبيعى لمستوى النيتروجين فى الأوراق — فـى إحـدى الدراسـات — بين ٥,٤٪، و٥,٦٪ بعد ٤ أسابيع من الشتل، وارتفـع إلى ٦٪ — ٦,٤٪ عنـد عمـر ٦ أسابيع بعد الشتل، ثم انخفض إلى ٤,٢٪ — ٤,٧٪ عنـد عمـر ١٢ أسـبوعًا. وظهـر هـذا الاتجاه واضحًا كذلك فى دراسـة أخـرى كـان فيهـا مـستوى النـيتروجين الطبيعـى فـى الأوراق ٣,١٪ عند الشتل، وبلـغ أعلـى مـستوى لـه — وهـو ٥٪ — بعـد ٦ أسـابيع مـن الشتل، ثم انخفض تدريجيًّا بعد ذلك إلى أن وصل إلى أدنى مستوى له — وهـو ٢,٩٪ — عند عمر ١٦ أسبوعًا. ويتوقف الأمر على مستوى التسميد الآزوتى الذى تعطاه النباتات؛ فمثلاً.. كان مستوى النيتروجين فى المراحل المتقدمـة للنمـو النبـاتى (فـى آخـر تحليـل) ٣,٣٪، و٣,٦٪، و٤,٢٪ — علـى التـوالى — عنـدما كـان التـسميد الآزوتـى بمعـدل ٥٦،

و١٤٠، و٢٢٤ كجم / هكتار (٢٣,٥، و٥٩، و ٩٤ كجم للفدان)، وكان محصول الثمار المقابل لمستويات التسميد الآزوتى ٤,٨، و٥,٨، و١٠,١ طن للفدان، على التوالى (عن Winsor & Adams ١٩٨٧).

ويعتبر حد الكفاية من النيتروجين النتراتي في العصير الخلوى لأعناق أوراق الفلفل هو ١٠٠٠٠ ميكروجرام / جم فى بداية النمو النباتى، و٥٠٠٠ ميكروجرام/ جم فى المراحل المبكرة لعقد الثمار، و٣٠٠٠ ميكروجرام/ جم خلال مراحل الحصاد. وعمومًا .. فإن المستوى يجب ألا ينخفض عن ٤٠٠٠ ميكروجرام/جم خلال فترة الإنتاج الرئيسية من الثمار (عن Hartz وآخرين ١٩٩٣).

وقد اختلفت تقديرات مستوى التسميد الآزوتي المناسب للفلفل في الأراضي الرملية بين ١٨٠، و٢٠٠ كجم نيتروجين للهكتار (٧٦، و٨٤ كجم نيتروجين للفدان، على التوالى). وعلى الرغم من أن زيادة معدل التسميد الآزوتى من ١٣٥ كجم من العنصر للهكتار (٥٧ كجم للفدان) إلى ٢٢٤ كجم للهكتار (٩٤ كجم للفدان) أدت إلى زيادة تركيز العنصر فى الأوراق، إلا أنها لم تؤثر على المحصول (Locasico & Stall ١٩٩٤).

وقد تبين من دراسات المزارع المائية أن نسبة النيتروجين الأمونيومى: النيتروجين النتراتى التى تعطى أعلى محصول من الفلفل، هى : ١: ٩، وأن زيادة نسبة النيتروجين الأمونيومى تدريجيًا حتى ٤ :٦ أدت إلى نقص تدريجى مقابل فى المحصول، مع زيادة فى نسبة الثمار المصابة بتعفن الطرف الزهرى (Winsor & Adams ١٩٨٧).

وفى دراسة أخرى (Sarro وآخرون ١٩٩٥) لم تؤثر معاملة التسميد بالأمونيوم مخلوطًا بالنترات، لفترات مختلفة — مقارنة بالتسميد بالنترات فقط — على محصول الفلفل، أو على امتصاص النباتات للنيتروجين الكلى أو البوتاسيوم، إلا أن استعمال الأمونيوم أثر سلبيًا على امتصاص النباتات لكل من النترات، والفوسفور، والكالسيوم والمغنيسيوم من المحاليل المغذية، وازداد التأثير بزيادة فترة التغذية بالأمونيوم.

وقد أنتج الفلفل أعلى محصول من الثمار عندما كان استعمال النيتروجين الأمونيومى بنسبة ٣٠٪ من النيتروجين الكلى (٦ مللى مول) خلال مرحلة النمو الخضرى، والنيتروجين النتراتى هو المصدر الوحيد للنيتروجين خلال مرحلة الإثمار (Xu وآخرون ٢٠٠١).

وبالمقارنة .. وجد أن استخدام النيتروجين الأمونيومى بتركيز ٠,٩ — ١,٨ مللى مول NH_4^+N (١٥٪ - ٣٠٪ من النيتروجين الكلى) بالمحول المغذى أعطى أعلى محصول كلى من الفلفل، وأعلى كفاءة لاستخدام البوتاسيوم من قبل نبات الفلفل (Xu وآخرون ٢٠٠٢).

وأظهرت نباتات الفلفل تحملاً للنسب المعتدلة من الأمونيوم (٢٥٪ أو أقل، أو ٥٠٪ أو أقل)، إلاّ أن النسب الأعلى أضعفت النمو. ولم تؤد زيادة تركيز البوتاسيوم فى المحلول المغذى إلى تحسين النمو الخضرى، إلاّ أن زيادته إلى ٩ مللى مول جعلت إنتاج الثمار عاديًّا عند توفر ٥٠٪ من النيتروجين فى صورة أمونيومية. وقد أدت زيادة أيونا الأمونيوم والبوتاسيوم فى المحلول المغذى إلى انخفاض محتوى الأوراق من الكالسيوم والمغنيسيوم؛ بما يعنى حدوث تنافس كاتيونى (Hernández–Gómez وآخرون ٢٠١٣).

الفوسفور

تبدو أوراق الفلفل التى تعانى من نقص الفوسفور ضيقة، ولامعة، وذات لون أخضر رمادى، ويصاحب ذلك ضعف عام فى النمو. كما يؤدى نقص الفوسفور إلى إنتاج ثمار مشوهة وصغيرة الحجم، مع تأخر فى النضج.

تظهر أعراض نقص الفوسفور عندما ينخفض مستوى العنصر فى الأوراق إلى ٠,٠٩٪ أو أقل من ذلك. أما المستوى الطبيعى للعنصر فإنه يتراوح بين ٠,٣٠، و٠,٤٢٪، ولا يزداد المحصول بزيادة مستوى العنصر فى الأوراق عن ٠,٦٪ بزيادة مستوى التسميد بالفوسفور.

وفى إحدى الدراسات تناقص مستوى الفوسفور فى الأوراق — تدريجيًا — مع تقدم النمو النباتى — من ٠,٣٦٪، إلى ٠,٢٧٪ ثم إلى ٠,١٩٪. وفى دراسة أخرى حدث تناقص فى مستوى الفوسفور من ٠,٤٣٪ إلى ٠,٢٧٪ خلال العشرة أسابيع الأولى بعد الشتل، ثم ارتفع مرة أخرى ليبلغ ٠,٤٧٪ عند عمر ١٦ أسبوعًا.

وينخفض مستوى الفوسفور فى ثمار الفلفل — خلال المراحل المختلفة لنموها — من ٠,٩٪ فى الثمار الأقل من ١,٥ سم طولاً إلى ٠,٣٪ فى الثمار الخضراء المكتملة التكوين. كما ينخفض مستوى الفوسفور فى الثمار من ٠,٤٤٪ إلى ٠,٣٢٪ خلال فترة الحصاد.

وتحصل الثمار على نحو ٥٨٪ من إجمالى الفوسفور الذى يمتصه النبات فى منتصف موسم النمو، ولكن هذه النسبة تنخفض بعد ذلك نظرًا لتناقص أعداد الثمار التى يحملها النبات فى نهاية الموسم.

البوتاسيوم

يؤدى نقص البوتاسيوم إلى اكتساب أوراق الفلفل لونًا برونزيًا، فيما يعرف باسم bronzing. ويزداد هذا التلون البرونزى وضوحًا عندما يصاحب نقص البوتاسيوم زيادة فى النيتروجين. ومع استمرار نقص العنصر يتقزم النمو، وتتكون بقع صغيرة متحللة على امتداد العروق فى الأوراق البرونزية التى سرعان ما تموت.

وتجدر الإشارة إلى أن كلا من نقص البوتاسيوم، والإفراط فى التسميد البوتاسى يؤديان إلى نقص المحصول، بينما يؤدى التسميد البوتاسى المعتدل إلى زيادة أعداد الثمار، وسمك جدرها، وتحسين نوعيتها، مع زيادة المحصول.

ويزداد مستوى العنصر فى الأوراق وفى الثمار — تدريجيًا — مع كل زيادة فى مستوى التسميد بالبوتاسيوم، وكانت تلك الزيادة — فى إحدى الدراسات — من ١,٢٪ إلى ٤,٦٪ فى الأوراق، ومن ١,٨٪ إلى ٣,٤٪ فى الثمار.

كذلك ينخفض مستوى البوتاسيوم فى الأوراق فى نهاية موسم النمو إلى نحو ٢,٢٪ عندما يكون المحصول عاليًا. وقد تأرجح مستوى العنصر فى الأوراق — فى إحدى

الدراسات — بين ١,٩٪ عند الشتل، إلى ٤,٧٪ — ٥,٠٪ بعد ٤ –٨ أسابيع من الشتل، ثم إلى ٣,١٪ — ٣,٤٪ عند عمر ١٢ أسبوعًا.

الكالسيوم

يؤدى نقص الكالسيوم إلى تقزم النمو، وتصبح الأوراق خضراء فاتحة، والثمار صغيرة الحجم وخضراء قاتمة كذلك عن اللون العادى. ومع استمرار النقص تبدو الأوراق صغيرة وصفراء اللون وتلتف حوافها إلى أعلى، وتظهر على كثير من الثمار أعراض الإصابة بتعفن الطرف الزهرى.

كانت نسبة الكالسيوم فى النباتات المسمدة جيدًا بالعنصر (١٥٠ جزءًا فى المليون من الكالسيوم فى المحاليل المغذية) حوالى ١,٢٢٪، مقارنة بنسبة كالسيوم ٠,٦٢٪ فقط فى النباتات التى لم تعط كفايتها من العنصر (٥٠ جزءًا فى المليون من الكالسيوم فى المحاليل المغذية)، وقد بلغ مستوى الكالسيوم فى الثمار عند مستويى التسميد ٠,١٧٪، و٠,١٣٪، على التوالى، وصاحب المستوى المنخفض ظهور نسبة من الإصابة بتعفن الطرف الزهرى (عن Winsor & Adams ١٩٨٧).

هذا .. وتوجد علاقة عكسية بين محتوى نباتات الفلفل من الكالسيوم وبين محتواها من كل من البوتاسيوم والمغنيسيوم (Yang وآخرون ١٩٩٦).

المغنيسيوم

تظهر أعراض نقص المغنيسيوم بوضوح على الفلفل فى صورة اصفرار بين العروق فى الأوراق السفلى يبدأ من قمة الورقة، مع التفاف الأوراق إلى أعلى، وكذلك تصبح الأوراق سهلة التقصف. وبينما تبقى العروق خضراء اللون، فإنه تظهر بقع متحللة فى المساحات الصفراء من نصل الورقة. وفى حالات النقص الشديدة يتوقف النمو النباتى، وتسقط الأوراق السفلى ويقل كثيرًا إنتاج النبات من الثمار، وتكون الثمار المنتجة صغيرة الحجم.

تحتوى أوراق نباتات الفلفل التى تنمو فى تربة فقيرة فى المغنيسيوم على ٠,١١٪ مغنيسيوم، مقارنة بنسبة ٠,٤٩٪ فى أوراق النباتات المسمدة جيدًا بالعنصر، وكانت

المحتويات المقابلة للعنصر في الثمار ٠,١٣٪، و٠,١٩٪ في مستويي التسميد على التوالي؛ مما يعني أن حالة النقص أثرت على نسبة العنصر في الأوراق بدرجة أكبر من تأثيرها عليه في الثمار.

وفي دراسة أخرى كان تركيز العنصر في أوراق النباتات النامية في مزرعة رملية ٠,٢٠٪، و٠,٦٠٪، و١,٣٧٪ – على التوالي – عندما كان ري المزرعة بمحاليل مغذية احتوت على المغنيسيوم بتركيز ١٠، و٤٩، و٢٤٣ جزءًا في المليون، وكان تركيز المغنيسيوم في الثمار ٠,٢٠٪، و٠,٢٢٪، و٠,٢٧٪ مقابل مستويات التسميد المختلفة؛ الأمر الذي يؤكد تأثر محتوى الأوراق من المغنيسيوم بنقص العنصر بدرجة أكبر من تأثر الثمار.

وعمومًا فإن التركيز الطبيعي للعنصر في أوراق النباتات المسمدة جيدًا بالمغنيسيوم يتراوح بين ٠,٦٥٪، و٠,٧٢٪، بينما يعني تركيز ٠,٢٥٪ في الأوراق أن النباتات تعاني من نقص العنصر.

هذا .. إلا أن التركيز الطبيعي للمغنيسيوم في الأوراق يختلف باختلاف مرحلة النمو النباتي، فقد كان في إحدى الدراسات ٠,٦٪ عند الشتل، وارتفع إلى ١,٦٪ بعد ١٢ أسبوعًا من الشتل، ثم انخفض ٠,٩٪ في الأسبوع السادس عشر بعد الشتل. وتغير مستوى العنصر في السيقان كذلك بطريقة مماثلة لتغيره في الأوراق، فارتفع من ٠,٦٪ عند الشتل إلى ١,٠٪ بعد ١٢ أسبوعًا من الشتل، ثم انخفض إلى ٠,٥٪ بعد ٤ أسابيع أخرى. أما الثمار فقد انخفض محتواها من العنصر تدريجيًّا من ٠,٢٤٪ في بداية موسم الحصاد إلى ٠,١٨٪ في نهايته. ومن إجمالي المغنيسيوم الموجود في النبات، كان حوالي ٥٠٪– ٨٠ ٪ في الأوراق وأعناقها، وحوالي ١٨٪– ٣٨٪ في السيقان، وحتى ١٦٪ في الثمار.

وقد أدت زيادة أملاح الصوديوم، أو البوتاسيوم، أو الكالسيوم كمصادر للملوحة في ماء الري إلى خفض مستوى المغنيسيوم في الأوراق من ١,٤٨٪ إلى ١,٠٪– ١,٣٪، بينما

أدت إضافة أملاح المغنيسيوم كمصدر للملوحة إلى زيادة نسبة العنصر فى الأوراق إلى ٣,١٪ (عن Winsor & Adams ١٩٨٧).

كذلك انخفض تركيز المغنيسيوم فى أوراق الفلفل بزيادة مستوى التسميد البوتاسى (Paz وآخرون ١٩٩٦).

الحديد

يؤدى نقص الحديد إلى اصفرار الأوراق الحديثة وانسفاعها، مع توقف النمو، كذلك يتقزم النمو الجذرى وتسودّ قمة الجذر النامية.

المنجنيز

يؤدى نقص المنجنيز إلى ظهور تلون أصفر بين العروق فى الأوراق الحديثة، ويتوقف النمو. أما الأوراق المسنة فيظهر عليها بقع صفراء اللون، لا تلبث أن تتحلل.

النحاس

يؤدى نقص النحاس إلى التفاف الأوراق الصغيرة، ثم ذبولها، وجفافها. ويبدأ الذبول من حواف الأوراق التى يظهر عليها تبرقش خفيف. ويتراوح المستوى الطبيعى للعنصر فى ثمار الفلفل بين ٢٦، و٣١ ميكروجرامًا/ جم.

الزنك

يؤدى نقص الزنك إلى تلون نصل الأوراق الحديثة بين العروق باللون البرونزى وسقوط الأوراق. ويتراوح المستوى الطبيعى للزنك فى ثمار الفلفل بين ٤٣، و٥٢ ميكروجرامًا/ جم.

البورون

يؤدى نقص البورون إلى التفاف الأوراق الصغيرة ثم سقوطها، مع تقزم النمو. أما زيادة البورون فإنها تؤدى إلى توقف نمو حواف الأوراق الكبيرة والتفافها إلى أسفل،

واحتراقها، مع توقف النمو بنسبة تزداد تدريجيًا من حوالى ٩٪ عند تركيز ٥ أجزاء فى المليون من البورون فى المحلول المغذى إلى ٢٨٪ عند تركيز ١٠ أجزاء فى المليون، و٥١٪ عند تركيز ١٥ جزءًا فى المليون، وإلى ٧١٪ عند تركيز ٢٥ جزءًا فى المليون من البورون فى المحلول المغذى (عن Winsor & Adams ١٩٨٧).

ويزداد تركيز العنصر فى أوراق الفلفل بزيادة مستوى التسميد بالبورون (Paz وآخرون ١٩٩٦).

وقد أنتج الفلفل أعلى كتلة بيولوجية عندما كان تركيز البورون فى تربة جيرية حوالى ملليجرام واحد /كجم، وكانت التركيزات الأعلى من ذلك سامة للنباتات. هذا .. وقُدِّر التركيز الحرج للبورون فى نموات الفلفل الخضرية بنحو ٦٩ مجم/ كجم عند عمر ثلاثة أسابيع، و٤٩ مجم/ كجم عند عمر ستة أسابيع (Nabi وآخرون ٢٠٠٦).

الموليبدنم

يؤدى نقص الموليبدنم إلى ظهور تآكل وتبرقش غير منتظم فى حواف الأوراق (عن Winsor & Adams ١٩٨٧).

الاحتياجات السمادية من العناصر الكبرى

تعرف الحاجة إلى التسميد من تحليل النبات

يفيد تحليل النبات فى تحديد مدى الحاجة إلى التسميد. ويبين جدول (٤-٧) الموعد المناسب لإجراء التحليل ومستويات نقص وكفاية عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم فى كل موعد (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠). كذلك يوضح جدول (٤-٨) المستوى الطبيعى من النيتروجين والبوتاسيوم فى مراحل النمو المختلفة وبطرق التقدير المختلفة (عن Hartz & Hochmuth ١٩٩٦).

جدول (٤–٧): مستويات نقص وكفاية عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم فى الفلفل عند إجراء التحليل فى مواعيد مختلفة[١].

الأصناف	موعد التحليل	العنصر وصورته	مستوى تركيز العنصر فى حالة[٢] النقص	الكفاية
الحلوة	النمو المبكر	NO_3	٨٠٠٠	١٢٠٠٠
		PO_4	٢٠٠٠	٤٠٠٠
		K	٤	٦
	بداية عقد الثمار	NO_3	٣٠٠٠	٥٠٠٠
		PO_4	١٥٠٠	٢٥٠٠
		K	٣	٥
الحريفة	النمو المبكر	NO_3	٥٠٠٠	٧٠٠٠
		PO_4	٢٠٠٠	٣٠٠٠
		K	٤	٦
	بداية عقد الثمار	NO_3	١٠٠٠	٢٠٠٠
		PO_4	١٥٠٠	٢٥٠٠
		K	٣	٥

(١) أجريت التحاليل على عنق أحدث ورقة مكتملة النمو.

(٢) تركيز العناصر بالجزء فى المليون فى حالتى النيتروجين والفوسفور، وكنسبة مئوية من الوزن الجاف فى حالة البوتاسيوم.

جدول (٤–٨): المستوى الطبيعي (مستوى الكفاية) من النيتروجين، والبوتاسيوم فى مختلف مراحل النمو النباتي فى الفلفل.

مرحلة النمو	عصير أعناق الأوراق (مجم/ لتر) النيتروجين النتراتي	البوتاسيوم	الأوراق الكاملة (جم/كجم وزن جاف) النيتروجين	البوتاسيوم
ظهور البراعم الزهرية الأولى	١٤٠٠– ١٦٠٠	٣٢٠٠– ٣٥٠٠	٤٥– ٥٠	٥٠–٦٠
تفتح الأزهار الأولى	١٤٠٠– ١٦٠٠	٣٠٠٠– ٣٢٠٠	٤٠– ٤٥	٤٥–٥٠
منتصف نمو الثمار الأولى	١٢٠٠– ١٤٠٠	٣٠٠٠– ٣٢٠٠	٤٠– ٤٥	٤٠–٥٠
الحصاد الأول	٨٠٠– ١٠٠٠	٢٤٠٠– ٣٠٠٠	٣٥– ٤٠	٣٥–٤٥
الحصاد الثاني	٥٠٠– ٨٠٠	٢٠٠٠– ٢٤٠٠	٢٥– ٣٠	٣٠–٤٠

تعد هذه التقديرات — التى ترتبط نتائجها فى طريقتى التقدير — أعلى نسبيًا عن التقديرات المماثلة فى عديد من محاصيل الخضر الأخرى (Hochmuth ١٩٩٤)

وقد استخدمت قراءة الـ SPAD من جهاز SPAD-502 فى تقييم تأثير التسميد بالنيتروجين على نمو وتطور الفلفل، وأمكن تحويل القراءات إلى محتوى كلوروفيلى بالأوراق بالميكروجرام/ سم٢ (Madeira & de Varennes ٢٠٠٥).

وبناء على دراسات Olsen & Lyons (١٩٩٤).. فإن تقديرات النترات فى النُّسغ النباتى لأعناق اوراق الفلفل تُعد أكثر حساسية بمقدار خمس مرات عن تقديرات النيتروجين الكلى فى الأوراق الجافة فى الدلالة على وضع النيتروجين والمحصول. واتضح من الارتداد الخطى البسيط وجود علاقة أقوى بين النيتروجين المستعمل فى التسميد وتركيز النترات بأعناق الأوراق عما بين النيتروجين المسمد به والنيتروجين الكلى بالنبات.

استجابة الفلفل للتسميد

تختلف كميات العناصر السمادية التى ينصح بها للفلفل اختلافًا كبيرًا فى الظروف المختلفة، فهى تبلغ على سبيل المثال نحو ٨٠ كجم N، و٤٥ كجم P_2O_5، و٣٠ كجم K_2O للأيكر (يساوى فدان تقريبًا) فى كاليفورنيا، ونحو ١٠٠ كجم N، و٧٢ كجم P_2O_5، و١٠٠ كجم K_2O فى فلوريدا، ونحو ٥٧ كجم N، و١٠٠ كجم P_2O_5، و١٠٠ كجم K_2O فى الولايات الأمريكية الشرقية (Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

ونجد أنه فى مقابل كل طن من الثمار التى تنتجها النباتات، فإنها تمتص ٣-٣.٥ كجم من النيتروجين، و٠,٨- ١,٠ كجم من الفوسفور (P)، و ٥-٦ كجم من البوتاسيوم (K)، علمًا بأن الثمار يصلها عادة حوالى ٤٥٪- ٦٠٪ من النيتروجين الكلى الممتص، و٥٠٪-٦٠٪ من الفوسفور الكلى، و٥٥٪-٧٠٪ من البوتاسيوم الكلى. وفى غياب العوامل الأخرى التى يمكن أن تؤثر فى النمو النباتى والمحصول، فإنه يوجد ارتباط قوى بين امتصاص العناصر والمحصول.

وتزداد حاجة نباتات الفلفل لعناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم من بعد تفتح الأزهار الأولى بنحو ١٠ أيام وحتى نضج الثمار.

ويفضل الفلفل الصورة النتراتية للنيتروجين، حيث يقل المحصول بزيادة نسبة النيتروجين الأمونيومى إلى النيتروجين النتراتى فى الأسمدة المضافة (Hegde ١٩٩٧).

وقد كان أعلى إنتاج من الفلفل بأفضل نوعية من الثمار عندما كان التسميد الآزوتى — مع الرى بالتنقيط — بمعدل ٢٥٢ كجم للهكتار (١٠٦ كجم للفدان). وقد كانت إضافة هذه الكمية من العنصر فى ٨–١٠ جرعات أسبوعية متساوية فى صورة مخلوط من اليوريا ونترات الأمونيوم، مع بدء التسميد عند بداية معاودة النباتات لنموها بعد الشتل. وقد حافظ هذا المستوى المرتفع من التسميد الآزوتى على تركيز يزيد عن ٥٠٠٠ ميكروجرام/ جم من النيتروجين النتراتى فى العصير الخلوى لأعناق الأوراق حتى بداية المراحل المبكرة لفترة الحصاد الرئيسية. كما وُجد ارتباط عالٍ بين مستوى النيتروجين المقدر بهذه الطريقة باستعمال جهاز صغير يعمل بالبطارية، وبين مستوى النيتروجين المقدر بطرق التحليل التقليدية فى المختبر. أما مستوى الكلوروفيل المقدر بجهاز صغير يعمل بالبطارية — كذلك — فلم يكن مرتبط بتركيز النيتروجين فى الأوراق (Hartz وآخرون ١٩٩٣).

وفى أرض رملية طميية كان أعلى محصول من الفلفل عند التسميد — مع مياه الرى بالتنقيط — بمعدل ٧١ كجم من كل من النيتروجين، والفوسفور (P_2O_5)، والبوتاسيوم (K_2O) للفدان (Storlie وآخرون ١٩٩٥).

وتبعًا لـ Csizinszky (١٩٩٧) فإن الفلفل النامى فى أرض رملية مع استعمال الغطاء البلاستيكى للتربة والرى بالتنقيط ليس بحاجة إلى التسميد بالفوسفور مع مياه الرى أثناء النمو النباتى متى كان محتوى التربة من الفوسفور (P) المستخلص بطريقة Mehlich-1 لا يقل عن ٢١ مجم/ كجم من التربة؛ الأمر الذى يمكن تحقيقه بإضافة سماد السوبر فوسفات بالقدر الكافى قبل الزراعة.

وأوضحت دراسات Ombodi وآخرون (١٩٩٨) أن نباتات الفلفل يمكنها الحصول على كافة احتياجاتها من العناصر الغذائية بتسميدها مرة واحدة قبل الزراعة بسماد بطئ التيسر مغطى بالبوليولفين Polyolefin Coated Fertilizer. كانت النباتات المسمدة بهذه الطريقة أطول، وكان محصولها المبكر والكلى أعلى عن النباتات التى أعطيت عدة دفعات من الأسمدة العادية.

وأحدث رش نباتات الفلفل الحلو باليوريا بتركيز ١,٥٪ مرتان أسبوعيًا تحسنًا جوهريًّا فى لون الثمار، مقارنة بلون الثمار التى حصلت نباتاتها على احتياجاتها من النيتروجين عن طريق التربة فقط. كذلك أحدث الرش باليوريا زيادة فى تركيز الأنثوسيانين بالثمار. وبينما أحدث نقص النيتروجين شدًّا تأكسديًّا، فإن الرش باليوريا غير من تلك الاستجابة، وخفض جوهريًّا من نشاط إنزيمى الـ catalase، والـ ascorbate peroxidase (del Amor وآخرون ٢٠٠٩).

وفى محاولة لتقليل التلوث البيئى بزيادة كفاءة استخدام النيتروجين دون التأثير سلبيًّا على محصول الثمار أو جودتها، وُجد أن قصر تركيز النيتروجين فى المحلول المغذى للفلفل على ٥٦,٢ مجم/ لتر أدى إلى امتصاص كامل تقريبًا للعنصر بواسطة النباتات دون أن يحدث تأثير جوهرى سلبى على صفات جودة الثمار الفيزيائية والكيميائية، بما فى ذلك محتوى السكر والحموضة. كما لم يؤثر تقليل إضافة النيتروجين على القيمة الغذائية للثمار مثل محتواها من البيتاكاروتين والليكوبين والنشاط الكلى المضاد للأكسدة. هذا .. وقد كان صنف الفلفل الأقوى نموًّا أكثر كفاءة فى استعمال النيتروجين (Yasuor وآخرون ٢٠١٣).

وازداد محصول الدرجة الفاخرة Fancy Grade من كل من محصول القطفة الأولى والمحصول الكلى، وكذلك محصول الدرجة الأولى من القطفة الأولى.. ازداد خطيًّا مع زيادة معدل التسميد بالكالسيوم، وصاحب ذلك انخفاض فى معدل إصابة الثمار بكل من تعفن الطرف الزهرى، ولسعة الشمس (Alexander & Clough ١٩٩٨).

برنامج تسميد الفلفل فى الأراضى الصحراوية

تعد جميع الأراضى الصحراوية فقيرة — بطبيعتها — من حيث محتواها من المادة العضوية، والعناصر الغذائية التى تحتاج إليها النباتات، مع انخفاض سعتها التبادلية الكاتيونية بشدة، وارتفاع نفاذيتها للماء بدرجة كبيرة، لذا .. فإن نجاح زراعة الفلفل فى هذه الأراضى يتوقف على التسميد الجيد الذى يجب أن يراعى فيه ما يلى:

١- الاهتمام بالتسميد العضوى لبناء التربة، وزيادة سعتها التبادلية الكاتيونية وقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة.

٢- رفع معدلات التسميد الكيميائى لتعويض النقص الحاد فى خصوبة التربة.

٣- إعطاء الأسمدة فى جرعات صغيرة على فترات متقاربة لتجنب فقدها بالرشح.

٤- الاهتمام بالتسميد بالعناصر الدقيقة إما فى صورة مخلبية — لكى لا تثبت فى التربة القلوية والجيرية — وإما رشًا على الأوراق.

ونظرًا لأن معظم زراعات الفلفل فى الأراضى الصحراوية تروى بطريقة التنقيط؛ لذا .. فإننا نوجه جُلّ اهتمامنا إلى كيفية التسميد من خلال شبكة الرى بالتنقيط، مع الإشارة إلى كيفية التسميد — عند اتباع طريقتى الرى السطحى والرى بالرش — فى نهاية هذا الجزء.

أولاً: برنامج التسميد عند اتباع طريقة الرى بالتنقيط

١- أسمدة تضاف قبل الزراعة:

يضاف السماد العضوى فى فج المحراث (موقع المصاطب فيما بعد) بمعدل ٢٠-٣٠ م^3 من السماد البلدى (سماد الماشية)، والأفضل إضافة ١٥ م^3 سمادًا بلديًا مع نحو ٨ م^3 من سماد الكتكوت (مخلفات الدواجن). ويفضل — تجنبًا لمشاكل الحشائش والتلوث بالنيماتودا ومسببات الأمراض — عدم إضافة أية أسمدة بلدية، مع استعمال نحو ١٥م^3 من سماد الكتكوت للفدان.

ويضاف إلى السماد العضوى — قبل إقامة المصاطب — مخلوط من الأسمدة الكيميائية؛ كما يلى:

العنصر	صورة العنصر	الكمية (كجم)	السماد المفضل
النيتروجين	N	٢٠	سلفات النشادر
الفوسفور	P_2O_5	٤٥	السوبر فوسفات
البوتاسيوم	K_2O	٢٠	سلفات البوتاسيوم
المغنيسيوم	MgO	٥	سلفات المغنيسيوم
الكبريت	S	٥٠	كبريت زراعى

يكون الهدف الأساسى من إضافة الكبريت خفض pH التربة فى منطقة نمو الجذور، وليس التسميد بالكبريت؛ نظرًا لأن النبات يحصل على حاجته من عنصر الكبريت من مختلف الأسمدة السلفاتية، ومن السوبر فوسفات، والجبس الزراعى. وبعض المبيدات.

٢– أسمدة عناصر أولية تضاف مع مياه الرى بعد الزراعة:

أ– كميات الأسمدة:

يستمر تسميد الفلفل بعد الشتل بالعناصر الأولية، وهى النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم. ويسمد الفدان الواحد بنحو ١٠٠ كجم نيتروجينًا (N)، و ٣٠ كجم فوسفورًا (P_2O_5)، و١٠٠ كجم بوتاسيوم (K_2O).

هذا .. وتحصل النباتات على كميات من النيتروجين من حامض النيتريك الذى قد يستخدم بتركيز منخفض فى إذابة الأملاح التى تسد النقاطات، أو لإذابة سلفات البوتاسيوم، ومن نترات الجير أو نترات الكالسيوم التى قد تستخدم كمصدر إضافى للكالسيوم، ويجب احتساب تلك الكميات من كمية النيتروجين الكلية الموصى بها للفدان.

ب- توقيت بداية التسميد:

يعمد الكثيرون إلى تأخير بداية التسميد إلى حين مرور أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع على الشتل اعتمادًا على ما يتوفر فى التربة من أسمدة سبقت إضافتها قبل الزراعة، وربما محاكاة لما يكون عليه الحال فى الأراضى الثقيلة، إلا أن الجذور لا تصل إلى هذه الأسمدة قبل مرور أسبوعين على الشتل؛ وبذا .. فهى لا تستفيد منها خلال تلك الفترة، كما أن الأراضى الصحراوية تعد فقيرة جدًّا فى محتواها من العناصر الغذائية إذا ما قورنت بالأراضى الثقيلة؛ ولذا.. فإن التسميد يجب أن يبدأ فى الأراضى الصحراوية بمجرد معاودة النباتات لنموها، ويكون ذلك — عادة — بعد نحو ٣-٧ أيام من الشتل.

ج- اختيار الأسمدة المناسبة:

(١) الأسمدة الآزوتية:

تستخدم اليوريا ونترات الأمونيوم (بنسبة ١ : ١) كمصدر للنيتروجين خلال الشهر الأول بعد الزراعة، ثم تستخدم نترات الأمونيوم منفردة، أو بالتبادل مع سلفات الأمونيوم بعد ذلك. ولا يوصى بالتسميد باليوريا إذا ارتفعت حرارة الجو عن ٢٥°م. وبالإمكان رش النباتات باليوريا — يوميًّا — بتركيز ٠,٢٪ بهدف توفير علاج سريع لحالات نقص الآزوت، نظرًا لسرعة امتصاصها ووصولها إلى جميع أجزاء النبات فى خلال ٢٤ ساعة من عملية الرش.

(٢) الأسمدة الفوسفاتية:

يستخدم سوبر فوسفات الكالسيوم العادى أو السوبر فوسفات الثلاثى كمصدر للفوسفور فى حالة التسميد الأرضى (ويفضل السوبر فوسفات العادى)، بينما يستخدم حامض الفوسفوريك فى حالة التسميد مع ماء الرى، حيث تقل فرصة تثبيت الفوسفور المضاف إليه، لأن حامض الفوسفوريك يعمل على خفض pH ماء الرى؛ الأمر الذى يمنع ترسيب الفوسفور حتى مع وجود الكالسيوم فى ماء الرى.

وعلى الرغم من أن الفوسفور المضاف مع مياه الرى يبقى فى التربة قريبًا من النقاطات — مما يعنى عدم تعرض كل المجموع الجذرى للنبات إلى الفوسفور المضاف — إلا أن ذلك يكون كافيًا لقيام النباتات بامتصاص حاجتها من العنصر.

(٣) الأسمدة البوتاسية :

تستخدم سلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم. وإذا وجدت صعوبة فى إذابتها فى مياه الرى فإنه يحسن خلطها جيدًا مع حامض النيتريك التجارى (المخفف بالماء) بنسبة ٤ من السماد إلى ١ من الحامض التجارى. يترك المخلوط يومًا كاملاً إلى أن تترسب كل الشوائب المختلطة بسماد سلفات البوتاسيوم، ثم يؤخذ الرائق للتسميد به.

وإذا لم يتوفر حامض النيتريك لإذابة سلفات البوتاسيوم فإنه يمكن استعمال حامض الكبريتيك التجارى المركز فى تحضير محلول سمادى يحتوى على كل من النيتروجين والبوتاس (K_2O) بنسبة ١ : ١,٥ (وهى النسبة المناسبة للتسميد بها ابتداء من الأسبوع التاسع بعد الشتل وإلى قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو أسبوعين) مع إضافة الفوسفور — بالنسبة المرغوبة — إلى هذا المخلوط ليصبح سمادًا كاملاً، ويجرى ذلك على النحو التالى:

- يضاف ٢٠ لترًا من حامض الكبريتيك المركز إلى برميل يتسع لنحو ٢٠٠ لترًا، ويحتوى على ٦٠ لترًا من الماء. تكون إضافة الحامض إلى الماء بصورة تدريجية، وببطء شديد، مع التقليب المستمر، ويحظر إجراء العكس (أى يحظر إضافة الماء إلى الحامض المركز)؛ لما ينطوى عليه ذلك من خطورة على القائمين بهذه العملية.
- يضاف ٥٠ كجم من نترات النشادر إلى الحامض المخفف مع التقليب المستمر.
- يضاف إلى المحلول المتكون ٥٠ كجم من سلفات البوتاسيوم مع التقليب المستمر.

- يضاف إلى المحلول الناتج ٤/٣ – ١,٥ لتر من حامض الفوسفوريك مع التقليب المستمر، علمًا بأن الكمية المستعملة منه تقل تدريجيًّا إلى أن تصل إلى الحد الأدنى ٤/٣ لتر) قرب انتهاء موسم الحصاد.
- يضاف الماء لإكمال حجم المحلول الناتج إلى ٢٠٠ لتر.
- تكشط الرغوة والأملاح التى تتجمع على سطح المخلوط.

يكفى المحلول السمادى الناتج من هذه العملية لتسميد فدان من الفلفل بعناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم لمدة حوالى ١٥ يومًا، وقد تستعمل لتسميد ١٥ فدانًا لمدة يوم واحد.. وهكذا.

أما إذا لم يرغب المنتج فى إجراء ما تقدم بيانه فإنه يفضل استعمال أحد الأسمدة السائلة كمصدر للبوتاسيوم.

وبالنظر إلى أن ما يوجد فى هذه الأسمدة من عنصر البوتاسيوم يكون جاهزًا لامتصاص النبات مباشرة، ولا يفقد منه شيء؛ لذا.. يمكن – عند استخدامها – خفض كمية البوتاسيوم (K_2O) الموصى بها إلى الثلثين؛ فيستعمل منها ما يكفى لإضافة نحو ٧٠ كجم من K_2O للفدان مع ماء الرى، بالإضافة إلى الـ ٢٠ كجم الأخرى التى تضاف فى باطن الخط قبل الزراعة.

وحتى إذا استعملت سلفات البوتاسيوم فى التسميد فإن إضافة جزء من البوتاسيوم فى صورة سماد بوتاسيوم سائل يعد أمرًا مرغوبًا فيه؛ ولذا .. يوصى بالتسميد بنحو لتر من أحد هذه الأسمدة البوتاسية السائلة ابتداء من الأسبوع السابع بعد الشتل، مع تخفيض الكمية المستعملة منها – ابتداء من الأسبوع الخامس عشر بعد الشتل.

د- توزيع كميات الأسمدة على موسم النمو:

(١) توزع كميات عناصر النيتروجين والفوسفور، والبوتاسيوم المخصصة للمحصول على النحو التالى:

(أ) يزداد معدل التسميد بالنيتروجين تدريجيًّا إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد حوالى ٤ أسابيع من الشتل، ويبقى عند هذا المستوى المرتفع إلى ما قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو ٤ أسابيع، ثم تتناقص الكمية التى يسمد بها تدريجيًّا إلى أن يتوقف التسميد بالنيتروجين نهائيًّا قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو أسبوعين.

وعادة .. يبدأ برنامج التسميد الآزوتى بنحو ٣-٤ كجم من النيتروجين أسبوعيًّا ابتداء من الأسبوع الثانى بعد الشتل. مع زيادة الكمية المضافة منه — تدريجيًّا إلى أن تصل إلى حوالى ٨-١٠ كجم نيتروجينًا أسبوعيًّا فى الأسبوع الخامس من الشتل، وتستمر على هذا المستوى المرتفع حتى الأسبوع السادس عشر بعد الشتل، حيث تتناقص كمية النيتروجين المضافة بعد ذلك — تدريجيًّا — إلى أن تصل إلى نحو ٥ كجم أسبوعيًّا فى الأسبوع الثامن عشر بعد الشتل، ثم يتوقف التسميد الآزوتى — تقريبًا — بعد ذلك.

(ب) يزداد معدل التسميد بالفوسفور سريعًا بعد الزراعة إلى أن يصل إلى أقصى معدل له فى مرحلة الإزهار وبداية عقد الثمار، ويبقى عند هذا المستوى المرتفع حتى الأسبوع الرابع عشر، ثم تتناقص الكمية المضافة منه تدريجيًّا إلى أن يتوقف التسميد بالفوسفور نهائيًّا قبل انتهاء الحصاد بنحو ثلاثة أسابيع.

وعادة .. يبدأ برنامج التسميد الفوسفاتى بنحو ٥٠٠ مل (سم^3) من حامض الفوسفوريك أسبوعيًّا ابتداء من الأسبوع الثانى بعد الشتل، مع زيادة الكمية المستعملة منه — تدريجيًّا — إلى أن تصل إلى حوالى لترين أسبوعيًّا ابتداء من الأسبوع الخامس بعد الشتل، وتستمر على هذا المستوى المرتفع حتى الأسبوع الرابع عشر بعد الشتل، حيث تتناقص الكمية المضافة منه تدريجيًّا — بعد ذلك — إلى أن تصل إلى حوالى ٣٠٠ مل فقط أسبوعيًّا فى الأسبوع الثامن عشر بعد الشتل، ثم يتوقف التسميد الفوسفاتى — تقريبًا — بعد ذلك.

(ج) يزداد معدل التسميدبالبوتاسيوم ببطء إلى أن يصل إلى أقصى معدل له فى بداية مرحلة الإثمار، ويبقى على هذا المستوى المرتفع حتى قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو أسبوع أو أسبوعين.

وعادة .. يبدأ برنامج التسميد البوتاسى بنحو ١-١,٥ كجم بوتاس (K_2O) أسبوعيًا ابتداء من الأسبوع الثانى بعد الشتل، مع زيادة الكمية المضافة منه — تدريجيًا — إلى أن تصل إلى حوالى ١٢- ١٥ كجم بوتاس أسبوعيًا فى الأسبوع الثامن بعد الشتل، وتستمر على هذا المستوى المرتفع حتى الأسبوع السادس عشر، حيث تتناقص كمية البوتاس المضافة تدريجيًا بعد ذلك حتى يتوقف قبل انتهاء الحصاد بنحو أسبوع.

هـ- نظام إضافة الأسمدة البسيطة والمركبة:

تحسب الكمية اللازمة من جميع الأسمدة لكل أسبوع من موسم النمو، حسب مرحلة النمو النباتى. وقد تضاف كميات الأسمدة المخصصة لكل أسبوع على دفعتين أو ثلاث دفعات، ولكن يفضل أن يتم التسميد مع ماء الرى بالتنقيط ست مرات أسبوعيًا، بينما يخصص اليوم السابع للرى بدون تسميد. وتوزع الأسمدة المخصصة لكل أسبوع على أيام التسميد الستة بأحد النظم التالية:

(١)تخلط جميع الأسمدة المخصصة لليوم الواحد ويسمد بها مجتمعة، وهذا هو النظام المفضل.

(٢)يُخَصّصُ يومان للتسميد الآزوتى، ثم يوم للتسميد الفوسفاتى والبوتاسى وهكذا.

(٣)تخصص ثلاثة أيام منفصل للتسميد الآزوتى، والفوسفاتى، والبوتاسى، ثم تعاد دورة التسميد.. وهكذا.

ولكن يراعى عند التسميد مع ماء الرى — بصورة عامة — عدم الجمع بين أى من أيونى الفوسفات أو الكبريتات وأيون الكالسيوم، لكى لا يترسبا بتفاعلهما مع الكالسيوم.

ويمكن — فى حالة التسميد مع ماء الرى بالتنقيط — استبدال الأسمدة التقليدية بالأسمدة المركبة السائلة، أو السريعة بالذوبان إذا كان استخدامها اقتصاديًّا، ويتوقف تركيب السماد المستخدم على مرحلة النمو النباتى، حيث يمكن استعمال سماد تركيبه ١٩-٦-٦ خلال الربع الأول من حياة النبات، يستبدل بسماد تركيبه ٢٠-٥-١٥ خلال الربع الثانى من موسم النمو، ثم بسماد تركيبه ١٥-٥-٣٠ إلى ما قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو أسبوعين.

يكون استخدام هذه الأسمدة بكميات تفى بحاجة النباتات من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم. وكما سبق أن أوضحنا فإن العناصر الغذائية فى تلك الأسمدة تكون جاهزة لامتصاص النبات مباشرة، ولا يفقد منها شىء. ولذا.. يمكن — عند استخدامها — خفض كمية عنصرى النيتروجين، والبوتاسيوم الموصى بهما إلى الثلثين، فيصبحان ٧٠ كجم نيتروجينًا، و٧٠ كجم K_2O للفدان. أما الفوسفور؛ فتبقى الكمية الموصى بها بعد الزراعة وهى ٣٠ كجم — كما هى، نظرًا لأن التسميد المنفرد بالفوسفور يكون بحامض الفوسفوريك الجاهز للامتصاص السريع على أية حال.

ويكفى — عادة — نحو كيلو جرام واحد (أو لتر واحد) من تلك الأسمدة المركبة للفدان يوميًّا، ثم تزداد الكمية تدريجيًّا إلى أن تصل إلى نحو ٣-٤ كجم يوميًّا فى منتصف موسم النمو، وتتناقص مرة أخرى — تدريجيًّا — إلى أن تصل إلى كيلو جرام واحد للفدان يوميًّا — مرة أخرى — قبل انتهاء موسم الحصاد بنحو أسبوعين.

وكما فى حالة التسميدة بالأسمدة التقليدية .. يلزم تخصيص يوم واحد، أو يومين أسبوعيًّا للرى بدون تسميد؛ بهدف خفض تركيز الأملاح فى منطقة نمو الجذور.

ويبين جدول (٤-٩) برنامجًا مقترحًا للتسميد بالنيتروجين والبوتاسيوم فى الأراضى الرملية بولاية فلوريدا الأمريكية.

جدول (٤-٩): برنامج التسميد بالنيتروجين والبوتاسيوم للفلفل فى الأراضى الرملية فى ولاية فلوريدا الأمريكية عند إجراء الزراعة بالشتل، والرى بالتنقيط، واستعمال الغطاء البلاستيكى للتربة (عن Hartz & Hochmuth ١٩٩٦).

مرحلة النمو		كمية العنصر بالكجم للهكتار (وبالكجم للفدان بين قوسين)/ يوم [أ، ب]	
المرحلة	الفترة بالأسبوع	N	K
١	٢	١,١ (٠,٥)	٠,٩ (٠,٤)
٢	٣	١,٧ (٠,٧)	١,٤ (٠,٦)
٣	٧	٢,٢ (٠,٩)	١,٨ (٠,٨)
٤	١	١,٧ (٠,٧)	١,٤ (٠,٦)
٥[جـ]	١	١,١ (٠,٥)	٠,٩ (٠,٤)
الكمية الإجمالية		١٨٠ (٧٥)	١٥٠ (٦٣)

أ- للتحويل من K إلى K_2O يقسم على ٠,٨٣، وبذا تكون الكمية الموصى بها من K_2O (وحدات البوتاسيوم) هى: ١٨٠ كجم للهكتار، أو حوالى ٧٥ كجم للفدان.

ب- تخصم الكميات التى تضاف قبل الزراعة (وتكون فى حدود ٢٠٪ من الكميات الإجمالية) من الكميات الموصى بها من العناصر خلال الأسابيع القليلة الأولى بعد الشتل.

ج- عند استمرار موسم النمو لفترة أطول يستمر العمل ببرنامج المرحلة الخامسة حتى نهاية الحصاد.

ونظرًا لأن غسيل الأسمدة من التربة يمكن أن يحدث عند الرى بالتنقيط؛ لذا .. فإن الأسمدة المضافة فى أى رية يجب ألا تتعرض إلى رى زائد لا فى نفس الرية ولا فى الريات التالية. وتزيد فرصة احتمال غسيل الأسمدة عند زيادة فترة الرية الواحدة عن الساعة.

٣- أسمدة عناصركبرى أخرى تضاف بعد الزراعة:

إن أهم العناصر الكبرى الأخرى - بخلاف عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم - هى عناصر الكبريت، والمغنيسيوم، والكالسيوم.

أ- الكبريت:

يحصل النبات على حاجته من عنصر الكبريت أساسًا من الكبريت المضاف إلى التربة قبل الزراعة، ومن كبريتات الأمونيوم، وكبريتات البوتاسيوم، وسوبر فوسفات الكالسيوم، والجبس الزراعي (الذى قد يستعمل بغرض خفض pH التربة)، بالإضافة إلى مايوجد من كبريت بالأسمدة الورقية، وبعض المبيدات. ولا توجد حاجة إلى أية إضافات أخرى من هذا العنصر.

ب- المغنيسيوم:

يحصل النبات على حاجته من المغنيسيوم من سلفات المغنيسيوم التى تضاف قبل الزراعة، بالإضافة إلى ما يتوفر من العنصر فى الأسمدة المركبة، سواء تلك التى تستخدم فى مد النبات بحاجته من العناصر الأولية (النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم)، أم الأسمدة الورقية؛ لذا .. لا يحتاج الأمر إلى مزيد من التسميد بالمغنيسيوم إلا إذا لم يكن قد سمد المحصول بالعنصر قبل الزراعة، أو إذا ظهرت أعراض نقص المغنيسيوم، ويلزم — حينئذ — إضافة كبريتات المغنيسيوم بمعدل كيلو جرام واحد للفدان إما رشًا، وإما مع ماء الرى بالتنقيط، مع تكرار المعاملة أسبوعيًا إلى أن تختفى أعراض نقص العنصر، أو كل أسبوعين طوال موسم النمو.

ج- الكالسيوم:

يحصل النبات على معظم حاجته من الكالسيوم من سوبرفوسفات الكالسيوم، ومن الجبس الزراعى الذى قد تعامل به التربة، بالإضافة إلى ما يتوفر من العنصر فى الأسمدة المركبة بنوعيها، إلا أن الفلفل يحتاج إلى مزيد من التسميد بالكالسيوم لكى لا تتعرض ثماره للإصابة بتعفن الطرف الزهرى، وهو عيب فسيولوجى يظهر عند نقص كمية عنصر الكالسيوم التى تصل إلى الثمار.

ويستخدم فى مصر رائق سماد نترات الجير المصرى (عبود) لتزويد الفلفل بعنصر الكالسيوم مع ماء الرى بالتنقيط، لكن يفضل استخدام سماد نترات الكالسيوم النقى عند

توفره. ويشترط فى كلتا الحالتين عدم احتواء مياه الرى على كمية كبيرة من الفوسفات أو الكبريتات.

ويكون استعمال أى من السمادين (نترات الجير المصرى أو نترات الكالسيوم النقية) بمعدل ١٥– ٢٠ كجم أسبوعيًّا، ابتداء من بداية مرحلة عقد الثمار ولمدة ستة أسابيع.

ونظرًا للتوقيت الحرج لإضافة هذا السماد — والذى لا يكون فيه النمو الخضرى الغزير أمرًا مرغوبًا فيه — يفضل خصم كميات النيتروجين التى تضاف فى صورة نترات مع الكالسيوم — والتى تبلغ نسبتها فى كلا السمادين ١٥٪ — من كميات السماد الآزوتى المقرر إضافتها — خلال تلك الفترة فى برنامج التسميد.

ومتى كان هناك تسميد بالكالسيوم، فإنه يتعين إضافة الأسمدة مع ماء الرى فى مجموعتين منفصلتين، حيث تضم إحداهما الأسمدة المحتوية على الكالسيوم، بينما تشتمل الأخرى على الأسمدة التى تحتوى على أيونى الفوسفات أو الكبريتات، لكى لا يترسبا بتفاعلهما مع الكالسيوم.

ويمكن استخدام سماد نترات الكالسيوم النقى، أو رائق نترات الجير المصرى رشًّا بتركيز ١,٥– ٣ جم/ لتر؛ لإمداد النبات بعنصر الكالسيوم اللازم لوقف انتشار ظاهرة تعفن الطرف الزهرى فى الفلفل، مع الاهتمام بتوجيه محلول الرش إلى الثمار، بالإضافة إلى الأوراق.

٤– أسمدة العناصر الصغرى:

إن أهم العناصر الصغرى التى يلزم تسميد نباتات الفلفل بها فى الأراضى الصحراوية هى: الحديد، والزنك، والمنجنيز، والنحاس.. وهى العناصر التى تثبت فى صورة غير ميسرة لامتصاص النبات فى الأراضى القلوية. يتبقى بعد ذلك من العناصر الصغرى عنصران: البورون، وهو يثبت مع ارتفاع رقم pH التربة حتى ٨,٥، ثم يزداد تيسره كثيرًا بعد ذلك، والموليبدنم وهو لا يثبت فى الأراضى القلوية. ونجد — بصفة

عامة — أن الأراضى الصحراوية ينخفض محتواها من العناصر الصغرى كما هى الحال بالنسبة للعناصر الكبرى.

وبناء على ما تقدم .. فإن نباتات الفلفل تستجيب للتسميد بالعناصر الصغرى فى الأراضى القلوية، ولكن عناصر الحديد، والزنك والمنجنيز والنحاس تتعرض للتثبيت إذا كانت إضافتها عن طريق التربة، أو مع ماء الرى، حيث تبقى بالقرب من النقاطات نظرًا لأن جميع الأراضى الصحراوية قلوية. ولذا.. فإنه لا يفضل إضافة هذه العناصر عن طريق التربة إلا فى صورة مخلبية، كما أن ملح الكبريتات لهذه العناصر يمكن إضافته بطريقة الرش بمعدل ١– ١,٥ كجم مع ٤٠٠ لتر ماء للفدان. وإذا استخدمت الصور المخلبية لهذه العناصر رشًّا على الأوراق فإنها تستعمل بمعدل ٠,٢٥– ٠,٥٠ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان. أما البورون فإنه يضاف دائمًا فى صورة معدنية على صورة بوراكس إما عن طريق التربة بمعدل ٥– ١٠ كجم للفدان، وإما رشًّا على الأوراق بمعدل ١– ٢,٢٥ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

هذا.. ويمكن استبدال الأسمدة المفردة — التى سبق ذكرها — بالأسمدة المركبة وهى كثيرة جدًّا، ويبدأ الرش بها بعد الشتل بنحو ثلاثة أسابيع، ثم يستمر كل ٢–٣ أسابيع إلى ما قبل نهاية الحصاد بنحو ثلاثة أسابيع. وتفيد إضافة اليوريا إلى محلول العناصر الدقيقة — بتركيز ٠,١٪ — فى زيادة معدل امتصاص النباتات من هذه العناصر.

ومتى توفرت العناصر الدقيقة فى صورة مخلبية فإنه يكون من الأسهل — والأفضل — إضافتها عن طريق مياه الرى. ويحتاج الفدان — عادة — إلى نحو ٢– ٣ لترات من أسمدة العناصر الدقيقة المخلبية تجزأ على دفعات متساوية كل ثلاثة أسابيع، مع بداية التسميد بها بعد الشتل بنحو أسبوعين، وعلى ألا تزيد كمية السماد المستعملة فى كل مرة عن ٣٠٠ مل (سم٣). ويفضل استعمال السماد على دفعات أسبوعية مع مياه الرى، تبدأ بنحو ١٠٠ مل بعد الشتل مباشرة، وتزداد تدريجيًّا إلى أن تصل إلى ٣٠٠ مل ابتداء من الأسبوع السابع بعد الشتل، وتستمر على هذا المستوى المرتفع حتى الأسبوع الخامس

عشر بعد الشتل، لتنخفض بعد ذلك تدريجيًا إلى أن تصل إلى نحو ١٥٠ مل في الأسبوع الثامن عشر بعد الشتل.

ثانيًا: برنامج التسميد عند اتباع طريقة الري بالغمر أو بالرش

يؤخذ في الاعتبار عند تسميد الفلفل في الأراضي الصحراوية — عند اتباع طريقتي الري بالغمر أو بالرش– كل ما أسلفنا بيانه عند التسميد في حالة الري بالتنقيط، ولكن مع ملاحظة الأمور التالية:

١– زيادة التسميد السابق للزراعة من الفوسفور إلى ٦٠ كجم P_2O_5 للفدان. مع إنقاص الكمية المستخدمة منه — بعد الزراعة — إلى ١٥ كجم P_2O_5 فقط للفدان.

٢– لا يكون لمعدل ذوبان الأسمدة في الماء أهمية تذكر عند اتباع طريقة الري بالغمر؛ ولذا .. فإن سماد سوبر فوسفات الكالسيوم يستعمل — في هذه الحالة — بدلاً من حامض الفوسفوريك بعد الزراعة.

أما عند اتباع طريقة الري بالرش، فإن معدل ذوبان الأسمدة يبقى أمرًا له أهميته عند اختيار الأسمدة المناسبة للاستعمال؛ ولهذا السبب فإن حامض الفوسفوريك يستعمل كمصدر للفوسفور بعد الزراعة، ولكن مع خفض الكمية المستخدمة منه لما يكفي لإمداد النباتات بنحو ١٥ كجم P_2O_5 للفدان؛ لكي يبقى تركيز الحامض منخفضًا في مياه الري وفي مستوى لايؤدي إلى تآكل الأجزاء المصنوعة من البرونز والنحاس في جهاز الرش.

٣– تحسب الكمية اللازمة من جميع الأسمدة لكل أسبوع من موسم النمو — حسب مرحلة النمو النباتي — ثم تضاف بالكيفية التالية:

أ– في حالة الري بالغمر:

تخلط الأسمدة معًا وتضاف تكبيشًا في خندق بعمق ١٠ سم إلى جانب النباتات، وعلى مسافة حوالي ١٠ سم من قاعدتها، مع الترديم عليها عند العزيق. وتكون إضافة الأسمدة على فترات أسبوعية أو كل أسبوعين.

ب- فى حالة الرى بالرش:

تخلط الأسمدة معًا وتضاف إما فى خندق بعمق ١٠ سم إلى جانب النباتات وعلى مسافة ١٠ سم من قاعدتها، وإما مع ماء الرى، ويكون التسميد مع ماء الرى بالرش بنفس الكيفية التى تتبع عند الرى بالتنقيط.

ويوصى — فى حالة الرغبة فى التسميد مع ماء الرى بالرش- أن يكون ذلك فى النصف الثانى من حياة النبات بعد أن تنتشر الجذور وتشغل نسبة كبيرة من مساحة الحقل، وأن يتم إدخال السماد فى نظام الرى بالرش بطريقة تسمح بتشغيل جهاز الرى أولاً بدون سماد لمدة تكفى لبل سطح التربة، وبل أوراق النبات، وإلا فُقِدَ السماد بتعمقه فى التربة مع ماء الرى، يلى ذلك إدخال السماد مع ماء الرى لمدة تكفى لتوزيعه بطريقة متجانسة فى الحقل، ويعقب ذلك الرى بالرش بدون تسميد لمدة ١٠ دقائق، والغرض من ذلك هو غسل السماد من على الأوراق، والتخلص من آثاره فى كل جهاز الرى بالرش، كما يساعد هذا الإجراء على تحريك السماد فى التربة.

٤- يمكن استخدام سماد نترات الجير (عبود) كمصدر رئيسى للتسميد بالكالسيوم والنيتروجين. يضاف السماد عن طريق التربة — تكبيشًا — إلى جانب النباتات على عمق ١٠ سم فى ٦ دفعات نصف شهرية، تبدأ عند بداية الإزهار، بمعدل ٢٥ كجم للفدان فى كل مرة. وقد يفيد الرش بنترات الكالسيوم النقية (وهى سريعة الذوبان فى الماء) فى سد حاجة النبات السريعة إلى عنصر الكالسيوم، وهى تستخدم بمعدل ٢,٥ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

٥- يمكن — كذلك — استخدام رائق السوبر فوسفات العادى مع إضافته رشًا على النباتات (وليس مع ماء الرى بالرش) بتركيز ٠,٥- ٢,٠ جم/ لتر حسب حاجة النبات، مع تكرار الرش كل أسبوعين حسب الحاجة: كما يمكن استخدام التربل سوبر فوسفات بدلاً من السوبر فوسفات العادى، ولكن بنحو ثلث التركيز المستخدم من السوبر فوسفات العادى.

٦- كما يمكن استخدام رائق سلفات البوتاسيوم بتركيز ١,٥- ٢,٥ جم/ لتر رشًا على الأوراق خلال مرحلة نضج الثمار.

برنامج تسميد الفلفل فى الأراضى الثقيلة

نظرًا لأن معظم زراعات الفلفل فى الأراضى الثقيلة تروى بطريقة الغمر، فإننا نوجه جُلّ اهتمامنا إلى كيفية التسميد عند الرى بالغمر، مع الإشارة إلى كيفية التسميد — عند اتباع طريقتى الرى بالتنقيط والرى بالرش — فى نهاية هذا الجزء.

أولاً: برنامج التسميد عند اتباع طريقة الرى بالغمر

يخصص لكل فدان من الفلفل كميات الأسمدة التالية:

١-حوالى ٢٠- ٣٠م^3 من السماد البلدى (سماد الماشية)، أو نحو ١٥- ٢٠م^3 سمادًا بلديًا مع ٨ م^3 من سماد الكتكوت (مخلفات الدواجن). قد تضاف كل الكمية عند تجهيز الأرض بعد العزقة الأولى، أو قد تقسم إلى دفعتين متساويتين تضاف إحداهما عند تجهيز الأرض، بينما تضاف الثانية بعد نحو شهر من الشتل فى قناة المصطبة، ثم يُردَم عليها فى العزقة الأولى.

٢-من ٤٥- ٦٠ كجم وحدة فوسفور (P_2O_5)، مع إضافة الحد الأقصى عند زراعة الهجن. يستعمل السوبر فوسفات العادى كمصدر للفوسفور. قد تضاف كل كمية السماد المخصصة للفدان نثرًا مع السماد العضوى عند تجهيز الأرض بعد الحرثة الأولى، ولكن يفضل تقسيمها إلى دفعتين متساويتين، تضاف إحداهما عند تجهيز الأرض، بينما تضاف الثانية بعد نحو شهر من الشتل فى قناة المصطبة، ثم يُردم عليها فى العزقة الأولى.

٣-من ١٠٠ — ١٢٠ كجم نيتروجينًا (N)، مع إضافة الحد الأقصى عند زراعة الهجن. تستعمل اليوريا كمصدر للنيتروجين فى بداية حياة النبات وفى الجو البارد، وتستعمل سلفات الأمونيوم فى الدفعات الأولى للاستفادة من تأثيرها الحامضى، ويفضل استعمال نترات الأمونيوم خلال مراحل الإزهار وعقد الثمار، مع تخصيص جزء من

النيتروجين يضاف في صورة نترات الكالسيوم أو نترات الجير المصرى (عبود) خلال نمو الثمار؛ لتوفير الكالسيوم الذى يحتاجه النبات خلال تلك المرحلة؛ لتجنب إصابة الثمار بتعفن الطرف الزهرى.

ونظرًا لسهولة فقد النيتروجين من التربة؛ فإنه يتعين إضافة الكمية المخصصة للفدان في ثلاث دفعات بمعدل ٣٠– ٣٥، و٣٥–٤٠، و٣٥–٤٥ كجم N للفدان بعد حوالى ٤، و٧، و١٠ أسابيع من الزراعة، مع الترديم عليها أثناء العزيق، ويراعى إضافة الحد الأقصى — في كل موعد — عند زراعة الهجن.

٤– من ١٠٠ — ١٢٠ وحدة بوتاسيوم (P_2O) للفدان، مع إضافة الحد الأقصى عند زراعة الهجن. تستعمل سلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم، وتفضل إضافة الكمية المخصصة للفدان في ثلاث دفعات — مع النيتروجين — ولكن بمعدل ٢٥–٣٠، و٣٥–٤٠، و٤٠–٥٠ كجم P_2O للفدان في الدفعات الثلاث على التوالى.

وبذا .. تكون الكميات المستعملة للفدان من مختلف الأسمدة، ومواعيد إضافتها على النحو التالى:

الموعد	السماد البلدى (م٣)	سماد الكتكوت (م٣)	P_2O_5 (كجم)	N (كجم)	K_2O (كجم)
بعد الحرثة الأولى	٧,٥–١٠	٤	٢٢,٥–٣٠	–	–
بعد ٤ أسابيع من الشتل	٧,٥–١٠	٤	٢٢,٥–٣٠	٣٠–٣٥	٢٥–٣٠
بعد ٧ أسابيع من الشتل	–	–	–	٣٥–٤٠	٣٥–٤٠
بعد ١٠ أسابيع من الشتل	–	–	–	٣٥–٤٥	٤٠–٥٠
الإجمالى	١٥–٢٠	٨	٤٥–٦٠	١٠٠–١٢٠	١٠٠–١٢٠

وبالإضافة إلى الأسمدة التى تقدم بيانها.. فإن نباتات الفلفل تعطى ثلاث رشات بأسمدة العناصر الصغرى الورقية بعد نحو ٤، و٧، و١٠ أسابيع من الشتل. يتراوح تركيز محلول الرش فيها — عادة — بين ٠,١٪، و ٠,١٥٪، ويلزم للفدان حوالى ٢٠٠، و٣٠٠، و٤٠٠ لتر من محلول الرش في الرشات الثلاث على التوالى.

ثانيًا: برنامج التسميد عند اتباع طريقة الري بالتنقيط أو بالرش

عند رى الفلفل فى الأراضى الثقيلة بطريقة التنقيط، أو بالرش فإن النباتات تعطى برنامجًا للتسميد يتساوى — من حيث كميات العناصر السمادية المستعملة — مع الكميات المستعملة فى حالة الرى بالغمر فى الأراضى الثقيلة، ويتشابه — من حيث نوعيات الأسمدة المستخدمة، ومواعيد وطرق إضافتها — مع ما سبق بيانه بالنسبة لهذه الأمور فى حالتى الرى بالتنقيط وبالرش — على التوالى — فى الأراضى الصحراوية. هذا.. ويمكن فى حالة الرى بالرش — إضافة الأسمدة المقرر إضافتها إلى التربة مباشرة (وليس مع مياه الرى) فى عدد أقل من الدفعات، كما فى حالة الرى بالغمر. أما فى حالة إضافة الأسمدة مع مياه الرى بالرش فلا بد من الاستمرار فى توزيعها على عدة دفعات، لكى تكون بتركيزات منخفضة لا تحدث ضررًا للنباتات.

الباذنجان

تعرف الحاجة إلى التسميد من تحليل النبات

تبعًا لـ Hochmuth (١٩٩٤)، و Hochmuth وآخرين (١٩٩٣)، فإن مستوى البوتاسيوم الحرج فى الأوراق كان ٤,٥٪ عند بداية الإزهار، و٣,٥٪ عند بداية الإثمار، و٣,٠٪ أثناء الحصاد، و٢,٨٪ فى نهاية فترة الحصاد. وبالمقارنة .. كان مستوى البوتاسيوم الحرج فى العصير الخلوى لأعناق الأوراق (بالجزء فى المليون) ٤٥٠٠– ٥٠٠٠ قبل الحصاد، و٤٠٠٠– ٤٥٠٠ أثناء الحصاد، وكان تركيز قدره ٣٥٠٠ جزء فى المليون أثناء الحصاد دليلاً على نقص العنصر. ويستدل مما سبق بيانه على وجود ارتباط بين نتائج تقدير البوتاسيوم فى الأوراق بطرق التحليل المختبرية العادية، وفى العصير الخلوى لأعناق الأوراق، مع انخفاض مستوى البوتاسيوم فى النبات بتقدم النباتات فى العمر.

وقد قدر مستوى الكفاية من عنصرى النيتروجين والبوتاسيوم فى المراحل العمرية المختلفة لنبات الباذنجان، كما يلى (Hartz & Hochmuth ١٩٩٦).

مرحلة النمو	تحليل الأوراق على أساس الوزن الجاف (%)		تحليل العصير الخلوى لأعناق الأوراق (جزء فى المليون)	
	N	K	نيتروجين نتراتى	K
اول الثمار بطول ٥ سم	٤,٥– ٥,٥	٤,٥– ٦,٠	١٢٠٠– ١٦٠٠	٤٥٠٠– ٥٠٠٠
بداية الحصاد	٤,٥– ٥,٠	٣,٥– ٥,٠	١٠٠٠– ١٢٠٠	٤٠٠٠– ٤٥٠٠
منتصف موسم الحصاد	٣,٥– ٤,٥	٣,٠– ٤,٠	٨٠٠– ١٠٠٠	٣٥٠٠– ٤٠٠٠

الاستجابة للتسميد

١– المخلفات العضوية (الأوراق النباتية) غير المتحللة:

أدت إضافة الأوراق النباتية غير المتحللة إلى حقول الباذنجان قبل الشتل إلى نقص المحصول جوهريًّا مقارنة بإضافة كومبوست تام التحلل، ولم يكن مرد ذلك التأثير إلى نقص فى مستوى النيتروجين الميسر فى التربة، حيث كان تركيز النيتروجين متماثلاً فى كلتا الحالتين، نظرًا لإعطاء المعاملتين كميات كافية ومتماثلة من الأسمدة الكيميائية. ويبدو أن التأثير السلبى لإضافة الأوراق النباتية غير المتحللة كان مرده إلى المركبات الفينولية التى تسربت من تلك الأوراق إلى التربة (Maynard ١٩٩٧).

٢– العناصر الكبرى:

تحصل ثمار الباذنجان على نحو ٤٥٪– ٦٠٪ من كمية النيتروجين الكلية التى تمتصها النباتات، ونحو ٥٠٪– ٦٠٪ من الفوسفور الكلى، و٥٥٪– ٧٠٪ من البوتاسيوم الكلى. وتحتاج النباتات إلى تغذية متوازنة ومستمرة من هذه العناصر الأولية حتى نهاية موسم الحصاد؛ ولذا فإنها تستجيب جيدًا للتسميد مع مياه الرى بالتنقيط. ويفضل الباذنجان النيتروجين النتراتى عن النيتروجين الأمونيومى، الذى يؤدى إلى نقص معدل النمو النباتى (Hegde ١٩٩٧).

يؤدى استعمال المصادر النشادرية فقط كمصدر للنيتروجين عند تسميد الباذنجان إلى انخفاض معدل البناء الضوئى خلال المراحل المبكرة للنمو النباتى، وحدوث تقزم فى النمو، مع ظهور اصفرار فيما بين العروق فى نصل الأوراق السفلى، وميل الأوراق لأسفل leaf epinasty، وظهور تحلل فى حوافها، ويتبع ذلك ذبول النباتات، وسقوط الأوراق، وتكوين بقع متحللة على السيقان ونقص فى نموها، مع نقص مماثل فى نمو الجذور، والثمار. وتزداد حدة هذه الأعراض فى ظروف الإضاءة الضعيفة عنها فى الإضاءة القوية، وفى النباتات الصغيرة خلال مراحل النمو السريع للثمار (Claussen & Lenz ١٩٩٥). هذا إلا أن توفير ٣٠٪ – فقط– من النيتروجين فى صورة نشادرية أدى إلى زيادة كفاءة استخدام الماء، وزيادة انطلاق كاتيون الأيدروجين (H^+) من الجذور؛ الأمر الذى أبقى على الـ pH فى المدى المناسب للنمو النباتى (Elia وآخرون ١٩٩٧).

وفى الزراعات المحمية .. أدت زيادة معدلات التسميد الفوسفاتى — على صورة حامض فوسفوريك — من ٢٤ إلى ٣٦ جم P لكل متر مربع إلى زيادة استفادة نباتات الباذنجان من زيادة معدل التسميد الآزوتى — على صورة نترات بوتاسيوم — من ١٥ إلى ٣٠ جم N/ م٢، وإلى زيادة نسبة المحصول الصالح للتسويق (Lopez-Cantarero وآخرون ١٩٩٧).

وقد درس Hochmuth وآخرون (١٩٩٣) استجابة الباذنجان لمستويات مختلفة من التسميد بالبوتاسيوم فى أراضٍ رملية فقيرة فى محتواها من العناصر. كان أعلى محصول (٥١,١ طن للهكتار أو ٢١,٥ طن للفدان) عند التسميد بمقدار ٩٤ كجم K للهكتار (١١٣,٢ كجم K_2O للهكتار أو حوالى ٤٧,٦ كجم K_2O للفدان) فى العروة الربيعية، بينما كان أعلى محصول فى العروة الخريفية (٥٣,٣ طن للهكتار، أو نحو ٢٢,٣ طن للفدان) عند التسميد بمقدار ٦٠ كجم K للهكتار (٧٢,٣ كجم K_2O للهكتار أو حوالى ٣٠,٤ كجم K_2O للفدان).

٣- العناصر الصغرى:

يؤدى نقص البورون إلى اصفرار قمة الأوراق الصغيرة المكتملة التكوين؛ الأمر الذى يحدث عندما يكون تركيز البورون أقل من ٢٠ ميكرومولاً (Kreij & Basar ١٩٩٧).

معدلات التسميد

يسمد الباذنجان بنحو ٢٠- ٣٠م^3 من السماد البلدى القديم، و٨٠- ١٠٠ كجم نيتروجينًا N، و٤٥- ٦٠ كجم فوسفورًا (P_2O_5)، و٨٠- ١٠٠ كجم بوتاسيوم (K_2O) للفدان.

ويتوقف برنامج التسميد على طبيعة التربة وطريقة الرى. ففى الأراضى الثقيلة التى تروى بالغمر يضاف السماد العضوى ومعه نحو ١٠٠ كجم سلفات نشادر (٢٠ كجم N)، و٣٠٠ كجم سوبر فوسفات (٤٥ كجم P_2O_5)، و٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم (٢٥ كجم K_2O) للفدان قبل الزراعة. وتفضل إضافة هذه الأسمدة فى باطن خطوط الزراعة، ثم يردَّم عليها بنحو ٢٥ سم من التربة، على أن تستعمل فى الزراعة ريشة (جانب الخط الذى تم الترديم عليها، والتى أصبحت تقع أعلى مستوى الأسمدة المضافة. أما باقى الأسمدة الكيميائية فإنها تضاف تكبيشًا إلى جانب النباتات أثناء نموها مع الترديم عليها فى كل مرة. تكون مواعيد إضافة هذه الأسمدة بعد الشتل بنحو ثلاثة أسابيع، ثم بعد ذلك بنحو شهر وشهرين، على النحو التالى:

يضاف فى الدفعة الأولى ١٠٠ كجم سلفات نشادر (٢٠كجم N)، و١٠٠ كجم سوبر فوسفات (١٥ كجم P_2O_5)، و٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم (٢٥ كجم K_2O) للفدان.

يضاف فى الدفعة الثانية ١٠٠ كجم نترات نشادر (حوالى ٣٣ كجم N)، و٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم (٢٥ كجم K_2O) للفدان.

يضاف فى الدفعة الثالثة ٧٥ كجم نترات نشادر (٢٥ كجم N)، و٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم (٢٥ كجم K_2O) للفدان.

وإذا كانت التربة خفيفة مع استمرار الرى بالغمر تفضل إضافة الأسمدة التى أسلفنا بيانها على ٦ دفعات بدلاً من ثلاث، على أن يبدأ التسميد بعد الشتل بنحو أسبوعين.

وفى الأراضى الصحراوية التى تروى بطريقة التنقيط، أو بالرش، أو بالغمر تعطى حقول الباذنجان برامج للتسميد مماثلة لتلك التى أسلفنا بيانها تحت الفلفل.

وقد أوصى Hartz & Hochmuth (١٩٩٦) برنامج للتسميد بالنيتروجين والبوتاسيوم مع مياه الرى بالتنقيط فى الأراضى الرملية بفلوريدا، كما يلى:

مرحلة النمو	الفترة بالأسبوع	معدل التسميد بالعنصر (كجم/فدان/يوم)	
		N	K_2O
١	٢	٠,٤٦	٠,٤٦
٢	٢	٠,٧١	٠,٧١
٣	٦	٠,٩٢	٠,٩١
٤	٣	٠,٧١	٠,٧١

هذا مع العلم أن الزراعة كانت بالشتل، والمسافة بين الخطوط ١,٨م. وقد بلغ إجمالى احتياجات النباتات من العنصرين فى ظل هذه الظروف حوالى ٧٥ كجم من كل من النيتروجين والبوتاسيوم للفدان، متضمنة الكميات التى أضيفت مع الأسمدة السابقة للزراعة.

الفصل الخامس

تسميد القرعيات

(البطيخ – الكنتالوب – الخيار – الكوسة – القرع العسلى وقرع الشتاء)

البطيخ

يعتبر البطيخ من محاصيل الخضر التى تستجيب للتسميد الجيد، وخاصة التسميد العضوى. ويفيد تحليل التربة فى وضع برنامج متوازن للتسميد، كما يفيد تحليل النبات خلال مختلف مراحل نموه فى التعرف على مدى حاجته لمختلف العناصر السمادية. ويستفاد من اختبار تقدير النترات والبوتاسيوم فى العصير الخلوى لأعناق الأوراق فى الحصول على تقييم سريع لمدى الحاجة إلى التسميد بالنيتروجين أو بالبوتاسيوم من عدمه، حيث ترتبط نتائج التقدير السريع للنترات والبوتاسيوم فى أعناق الأوراق مع نتائج تحليبل عنصرى النيتروجين والبوتاسيوم بالطرق التقليدية فى الأوراق، كما هو مبين فى جدول (٥–١) (عن Hartz & Hochmuth ١٩٩٦).

جدول (٥–١): مستوى النيتروجين والبوتاسيوم المناسبين للنمو الجيد فى البطيخ عند إجراء التقدير بطريقى التقدير السريع فى العصير الخلوى لأعناق الأوراق، والتحليل الكمى للأوراق.

مرحلة النمو	محتوى عصير أعناق الأوراق (جم/لتر) من		محتوى الأوراق على أساس الوزن الجاف (جم/كجم) من	
	النيتروجين النتراتى	البوتاسيوم	النيتروجين	البوتاسيوم
عندما يكون النمو الخضرى بطول ١٥ سم	١٠٠٠– ١٥٠٠	٤٠٠٠– ٥٠٠٠	٥٠– ٦٠	٥٠ – ٦٠
عندما يكون طول الثمرة الأولى ٥ سم	١٠٠٠– ١٢٠٠	٤٠٠٠– ٥٠٠٠	٤٠– ٥٠	٣٥– ٤٠
عندما تكمل الثمرة الأولى نصف نموها	٨٠٠– ١٠٠٠	٣٥٠٠– ٤٠٠٠	٣٥– ٤٠	٢٥– ٣٥
عند بداية الحصاد	٦٠٠– ٨٠٠	٣٠٠٠– ٣٥٠٠	٤٠– ٣٠	٢٠– ٣٠

أما مستوى الكفاية من عنصر الفوسفور فإنه يبلغ ٢٥٠٠ جزءًا فى المليون من P_2O_5 فى الأوراق خلال المراحل المبكرة أثناء عقد الثمار، بينما يبلغ مستوى النقص ١٥٠٠ جزءًا فى المليون.

يُجرى التحليل — عادة — على عنق الورقة السادسة من القمة النامية للساق الرئيسية أو الفروع، حسب مرحلة النمو.

وتفضل إضافة الآزوت خلال المراحل الأولى للنمو النباتى فى صورة سلفات نشادر عند ارتفاع درجة الحرارة عن ٢٥°م، وفى صور يوريا عند انخفاضها عن ذلك، أو استعمال مخلوط من السمادين، او استعمالهما بالتبادل فى حالة إضافة الأسمدة مع مياه الرى بالتنقيط. أما خلال مراحل الإزهار، والعقد، ونمو الثمار فتفضل إضافة النيتروجين فى صورة نترات نشادر، كما يوصى خلال مراحل نمو الثمار إضافة جزء من النيتروجين فى صورة نترات كالسيوم، وذلك للوقاية من إصابة الثمار (المستطيلة) بتعفن الطرف الزهرى، ولما للكالسيوم من أهمية فى زيادة صلابة قشرة الثمرة.

وتتباين كميات الأسمدة التى تسعمل فى إنتاج البطيخ باختلاف أماكن الزراعة، ويستعمل المزارعون — عادة — كميات من الأسمدة أكبر من تلك الموصى بها، ففى ولاية فلوريدا الأمريكية — على سبيل المثال — يقوم منتجى البطيخ بتسميد المحصول بنحو ١١٠ كجم من النيتروجين، و٦٥ كجم من الفوسفور، و١٩٥ كجم من البوتاسيوم للهكتار، إلا أن جامعة فلوريدا توصى بمعدلات تسميد أقل من ذلك بكثير؛ حيث حصلوا على أكبر محصول عند التسميد بنحو ٢٥ كجم من الفوسفور للهكتار، علمًا بأن محتوى أحدث الأوراق المكتملة النمو من الفوسفور فى بداية مرحلة عقد الثمار بلغ ٠,٠٢٨٪ عند عدم التسميد بالفوسفور، مقارنة بنحو ٠,٠٤٨٪ عند التسميد بـ ٢٥ كجم من الفوسفور للهكتار (Hochmuth وآخرين ١٩٩٣).

ونظرًا لاختلاف طرق ومعدلات التسميد باختلاف طريقة إنتاج البطيخ، فإننا نتناول الموضوع حسب طريقة الزراعة، كما يلى:

أولاً: التسميد فى حالة الزراعة البعلية

إن زراعة البطيخ على الطريقة البعلية هى طريقة خاصة فى إنتاج المحصول تختلف جذريًا عن طرق الزراعة العادية؛ ولذا .. فإننا نتناولها بالتفصيل ومن كافة الجوانب التى تختلف فيها عما يتبع فى طرق الزراعة الأخرى.

تتبع طريقة الخنادق الكبيرة فى أراضى الجزائر، وفى الأراضى الرملية فى مناطق الصالحية، والبرلس، وكفر البطيخ، ويبدأ فيها إعداد الأرض للزراعة فى شهر سبتمبر، فتحفر خنادق فى اتجاه شرقى — غربى بعرض متر من أسفل، ٣–٥ م من أعلى، وبميل قدره ١ : ٢. ويتوقف عمق الخندق على بعد مستوى الماء الأرضى، ويجب ألا يرتفع مستوى القاع عن مستوى الماء الأرضى لأكثر من ٥٠ سم. أما طول الخندق فيتراوح بين ٣٥ و٧٠م.

تملأ الخنادق بالماء إلى ارتفاع ٢/١ م، بدءًا من شهر أكتوبر حتى منتصف ديسمبر، ثم يمنع عنها الماء، ويصرف الماء الزائد، ويزرع الشعير على مواضع ميل الخنادق وظهورها. وعند نضج الشعير تحصد السنابل فقط، وتترك السيقان لتمنع انهيار الرمل، ولمساعدة عروش البطيخ على تسلق جوانب الخندق. ولا يزرع الشعير فى الأراضى المرتفعة، وإنما يستبدل بضفائر من قش الأرز توضع فى خطوط على طول الخندق على مواضع ميله الجنوبية والشمالية، وعلى مسافة ٢٠ سم من بعضها البعض.

يُسمّد الحقل قبل الزراعة بأربعة أيام، ويتم التسميد بحفر خندق صغير فى قاع الخندق الكبير. ويكون الخندق الصغير بعرض ٢٠–٢٥ سم، وبعمق ٢٥–٤٠ سم (أى حتى مسافة ١٠–١٥ سم من الماء الأرضى)، ويوضع فيه زرق الحمام، أو سماد الكتكوت، أو السماد البلدى القديم المتحلل، أو مخلوط من زرق الحمام أو سماد الكتكوت مع السماد البلدى، والأسمدة الكيميائية. وبعد وضع الأسمدة يردم عليها وتكبس بالأرجل.

يحتاج الفدان إلى نحو ٢٥م^{3} من مخلوط السماد العضوى، أو حوالى زكيبة من زرق الحمام أو سماد الكتكوت لكل ٣٥ مترًا طوليًا من الخندق؛ بالإضافة إلى ٣ كجم من السوبر فوسفات العادى، و٥٠ كجم من سلفات النشادر، و١٠٠ كجم من سلفات البوتاسيوم، و٥٠– ١٠٠ كجم من الكبريت الزراعى.

ومن المفضل تحضير خلطة السماد العضوى مع الأسمدة الكيميائية ورشها بالماء، مع تغطيتها بالبلاستيك قبل الزراعة بأسبوعين، ثم إضافتها على دفعتين. الأولى أثناء التجهيز مع وضعها فى الجانب الشمالى (البحرى) من قاع الخندق، والثانية بعد حوالى ٤٥ يومًا من الزراعة، وهى التى يطلق عليها المزارعون اسم "الردّة"، وتكون إضافة الأسمدة آنذاك فى مجرى آخر على بعد ١٠– ١٥ سم من المجرى الأول ومن الجهة الجنوبية.

تكون الزراعة — عادة — اعتبارًا من منتصف شهر ديسمبر إلى منتصف شهر فبراير حسب منطقة الزراعة، حيث يبكر بها كلما كانت درجات الحرارة السائدة أكثر ملاءمة للمحصول خلال شهر يناير.

وتتم الزراعة بعد إضافة الأسمدة السابقة للزراعة بنحو ٤ أيام، وتجرى بزراعة بذور مستنبتة فى الجزء العلوى من المجرى السابق ذكره فى جور تبعد عن بعضها بمسافة ٧٥– ١٠٠ سم، مع وضع من ٨–١٠ بذور فى كل جورة على عمق ٣–٤ سم، وتغطى بالتراب الرطب ثم بالتراب الجاف.

تخف الجور بعد شهر من الزراعة، وتترك بكل جورة ٤ نباتات، ثم تجرى عملية خف ثانية بعد ٢٠ يومًا أخرى، ويترك بكل جورة نباتان مع توجيه أحدهما نحو الميل الشمالى، وتوجيه الآخر نحو بطن الخندق ثم نحو الميل الجنوبى.

توالى النباتات بالتسميد، فإلى جانب مخلوط السماد العضوى مع الأسمدة الكيميائية.. تضاف كميات أخرى من الأسمدة الكيميائية بعد عمل حُفَر بالوتد تصل إلى مستوى الجذور، مع غمر هذه الحفر بالماء، وتكون إضافة الأسمدة على ثلاث دفعات، كما يلى:

١- بعد ٤٥ يومًا من الزراعة أثناء الردّة، ويضاف فيها ٥٠ كجم سلفات نشادر و٥٠ كجم يوريا، و٦٠ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان.

٢- بعد ٢ إلى ٣ أسابيع من الأولى ويضاف فيها ١٠٠ كجم نترات نشادر، و١٠٠ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان.

٣- بعد نحو أسبوعين من الدفعة الثانية، ويضاف فيها ٥٠ كجم نترات نشادر، و١٠٠ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان.

لا تخف الثمار عند الزراعة بهذه الطريقة، وينتج كل نبات من ٣-٦ ثمار. وتمهد التربة أسفل كل ثمرة بعد تكوينها.. بحيث تظل فى مكانها، ولا تنزلق على ميل الخندق فتسحب معه العروش. ويتم الحصاد عادة خلال الفترة من منتصف شهر مايو إلى أواخر شهر يوليو.

تستخدم هذه الخنادق لمدة أربع سنوات، ولكنها تنقل سنويًا قبل الزراعة إلى الناحية الشمالية بمقدار ٦٠ سم، وتعرف هذه العملية باسم "شيل الرواتب"، وتجرى بغرض تغيير مكان الزراعة القديمة، وتتم فى شهر سبتمبر بعد صرف المياه من الخندق. أما بعد ٤ سنوات فإنه يتم عمل الخنادق فى أرض بكر جديدة.

لا تروى الأرض عند الزراعة بهذه الطريقة سوى مرة واحدة قبل الزراعة، ويكون ذلك من خلال خنادق مماثلة لخنادق الزراعة، ولكن متعامدة عليها، وتكون على مسافة ٣٥-٥٥ م من بعضها البعض. ويمكن فى حالة ظهور أعراض العطش إعادة ملء خنادق الرى بالماء.

يصل طول الخنادق فى هذه الطريقة إلى ٥٣٠ متر للفدان فى الأراضى المرتفعة، وإلى نحو ٧٠٠ متر فى الأراضى المنخفضة. ونظرًا لتكاليفها الباهظة.. فإنه لا ينصح باتباعها. ويمكن استبدالها فى المناطق التى لا تتوافر فيها مياه الرى بالغمر باتباع طريقة الرى بالتنقيط، مع استخدام الأقبية البلاستيكية المنخفضة للإنتاج المبكر (قسم بحوث الخضر ١٩٥٩، وزارة الزراعة — جمهورية مصر العربية ١٩٨٠، وتقارير نشاط القرعيات — مشروع تطوير النظم الزراعية).

ثانياً: التسميد فى حالة الزراعة المسقاوى مع الرى بالغمر

تتوقف طريقة التسميد التى تتبع فى حالة الزراعة المسقاوى مع الرى بالغمر على نوع التربة، كما يلى:

١- فى حالة أراضى الوادى والدلتا (الأراضى السوداء)

تضاف الأسمدة السابقة للزراعة مرة واحدة فى خندق بعمق ٣٠ سم يتم عمله فى باطن قنوات رى المصاطب، وذلك حتى يكون السماد قريبًا من جذور النباتات، ثم يغطى السماد بالتربة، ويروى الحقل، ثم يترك حتى يستحرث قبل زراعة البذور. ويتكون السماد السابق للزراعة — عادة — من نحو ٢٥ كجم من السماد البلدى التام التحلل، أو نحو ١٥م^{3} من سماد الكتكوت، أو مخلوط منهما، مع ٣٠ كجم من سماد السوبر فوسفات العادى (٤٥ وحدة فوسفور)، و٥٠ كجم من سلفات النشادر (١٠ وحدات نيتروجين)، و٥٠ كجم من سلفات البوتاسيوم (٢٥ وحدة بوتاسيوم)، و٥٠- ١٠٠ كجم من الكبريت الزراعى.

وإلى جانب تلك الكميات من الأسمدة الكيميائية التى تضاف مع السماد العضوى قبل الزراعة، فإن حقول البطيخ تسمد كذلك أثناء نمو النباتات، كما يلى:

أ- الموعد الأول بعد الخف، ويضاف فيه ١٠٠ كجم سلفات نشادر (٢٠ وحدة نيتروجين)، و١٠٠ كجم سوبر فوسفات الكالسيوم العادى (١٥ وحدة فوسفور) للفدان.

ب- الموعد الثانى عند الإزهار، ويضاف فيه ١٠٠ كجم نترات نشادر (٣٣ وحدة نيتروجين)، و١٠٠ كجم سلفات بوتاسيوم (٥٠ وحدة بوتاسيوم) للفدان.

ج- الموعد الثالث أثناء نمو الثمار، ويضاف فيه ١٠٠ كجم نترات كالسيوم (١٥ وحدة نيتروجين)، و٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم (٢٥ وحدة بوتاسيوم) للفدان.

وبذا يكون إجمالى الكميات المضافة من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم - قبل وبعد الزراعة - كما يلى: ٧٨ وحدة نيتروجين، و٦٠ وحدة فوسفور، و١٠٠ وحدة بوتاسيوم.

وتضاف الأسمدة الكيميائية: "تكبيشًا" إلى جانب النباتات في كل مواعيد التسميد نظرًا لاتساع المسافة بين الجور، ويردم عليها أثناء العزيق.

٢ـ في حالة الأراضي الرملية

يسمد البطيخ في الأراضي الرملية التي تروى بطريقة الغمر — عبر قنوات المصاطب— كما في أراضي الوادي والدلتا، ولكن مع إضافة حوالي ٥٠ كجم سلفات مغنيسيوم إلى الأسمدة الكيميائية السابقة للزراعة، وتوزيع كميات الأسمدة المقررة أثناء النمو النباتي على ستة مواعيد بدلاً من ثلاث، تكون بعد الخف، وبعد ذلك بأسبوعين، وعند الإزهار، وبعد ذلك بأسبوعين، وعند تكون ثمار صغيرة، وبعد ذلك بأسبوعين.

ثالثًا: التسميد في الأراضي الرملية مع اتباع طرق الري الحديثة

توضع الأسمدة العضوية والكيميائية السابقة للزراعة في خنادق يتم عملها في منتصف مصاطب الزراعة، وبالكميات ذاتها التي أوضحناها أعلاه تحت الزراعة المسقاوي في الأراضي الرملية، وهي: ٣٠م^{3} من سماد الماشية التام التحلل، أو ١٥م^{3} من سماد الكتكوت، أو مخلوط منهما، مع ٣٠٠ كجم من سماد السوبر فوسفات العادي (٤٥ وحدة فوسفور)، و ٥٠ كجم من سلفات النشادر (١٠ وحدات نيتروجين)، و٥٠ كجم من سلفات البوتاسيوم (٢٥ وحدة بوتاسيوم)، و٥٠ كجم من سلفات المغنيسيوم (٥ وحدات مغنيسيوم)، و٥٠– ١٠٠ كجم من الكبريت الزراعي.

أما تفاصيل عملية التسميد أثناء النمو النباتي فإنها تتوقف على طريقة ري المحصول، كما يلي:

١ـ في حالة الري بالرش

تفضل عند اتباع طريقة الري بالرش زيادة كمية سماد السوبر فوسفات المستعملة قبل الزراعة إلى ٤٠٠ كجم للفدان، مع إضافة كميات إضافية من الأسمدة الكيميائية أثناء النمو النباتي، كما يلي:

مرحلة النمو	السماد المستعمل	كمية السماد للفدان (كجم)	وحدات السماد للفدان
بعد الخف	اليوريا	٥٠	٢٢,٥
بعد أسبوعين من الخف	سلفات النشادر	٧٥	١٥
عند الإزهار	نترات النشادر	٧٥	٢٥
	سلفات البوتاسيوم	٧٥	٣٧,٥
بعد الإزهار بأسبوعين	نترات النشادر	٧٥	٢٥
	سلفات البوتاسيوم	٧٥	٣٧,٥
عند تكوين ثمار صغيرة	نترات الكالسيوم	١٠٠	١٥
	سلفات البوتاسيوم	٥٠	٢٥
بعد ذلك بنحو أسوعين	نترات الكالسيوم	٥٠	٧,٥
	سلفات البوتاسيوم	٥٠	٢٥

وبذا.. تكون الكميات الإجمالية المضافة من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم — قبل الزراعة وبعدها — كما يلى: ١٢٠ وحدة نيتروجين، و٦٠ وحدة فوسفور، و١٥٠ وحدة بوتاسيوم. تخلط الأسمدة معًا وتضاف نثرًا حول قاعدة النباتات. كذلك يمكن التسميد مع ماء الرى بالرش خلال النصف الثانى من حياة النبات، حينما تكون جذوره قد تشعبت فى الحقل إلى درجة تسمح بأكبر استفادة ممكنة من الأسمدة المضافة التى تتوزع مع ماء الرى فى كل الحقل. ويلزم فى هذه الحالة تشغيل جهاز الرى بالرش أولاً بدون سماد، لمدة تكفى لبل سطح التربة، وبل أوراق النبات، وإلا فقد السماد بتعمقه فى التربة مع ماء الرى. يلى ذلك إدخال السماد مع ماء الرى لمدة تكفى لتوزيعه بطريقة متجانسة فى الحقل، ويعقب ذلك الرى بالرش بدون تسميد لمدة ٥ دقائق بغرض غسل السماد من على الأوراق، وتحريكه فى التربة، والتخلص من آثاره فى جهاز الرى بالرش.

وتلاحظ زيادة كميات عناصر النيتروجين والبوتاسيوم التى تسمد بها نباتات البطيخ بعد الزراعة عند اتباع طريقة الرى بالرش فى الأراضى الرملية عما يكون عليه

الحال عند الرى بأى من طريقتى الغمر والتنقيط، وذلك بسبب فقد كميات كبيرة نسبيًّا من الأسمدة المضافة مع مياه الرى بالرش فى أماكن من الحقل لاتصل إليها جذور النباتات. كما أن الأسمدة التى تضاف نثرًا بالقرب من قواعد النباتات لا تستفيد منها النباتات كذلك بصورة كاملة نظرًا لوجود الأسمدة على سطح التربة بعيدة عن الجذور، حيث يتعين ذوبانها بصورة كاملة وانتقالها مع مياه الرى إلى مكان نمو الجذور.

٢- فى حالة الرى بالتنقيط

تسمد نباتات البطيخ أثناء نموها — عند اتباع طريقة الرى بالتنقيط فى الأراضى الرملية — بكميات العناصر التالية:

٨٠ وحدة نيتروجين، و٣٥ وحدة فوسفور (P_2O_5)، و ١٢٠ وحدة بوتاسيوم (K_2O)، وذلك على النحو التالى:

أ- تستخدم اليوريا وسلفات الأمونيوم (بنسبة ١ : ١ من النيتروجين المضاف) كمصدر للنيتروجين خلال الشهر الأول بعد الزراعة، ثم تستخدم سلفات الأمونيوم — منفردة — أو بالتبادل مع نترات الأمونيوم بعد ذلك. وتتوقف النسبة المستخدمة من النيتروجين النتراتى على درجة الحرارة السائدة؛ حيث تنتفى الحاجة إليه فى الجو الدافئ (لتحول الأمونيوم إلى نترات بسرعة فى هذه الظروف)، بينما تزيد الحاجة إليه (فى حدود ٢٥٪ – ٥٠٪ من كمية النيتروجين الكلى المضافة) فى الجو البارد (Hochmuth ١٩٩٢ أ). ومع ذلك.. فقد أوضحت معظم الدراسات — التى أجريت على تسميد عدد من محاصيل الخضر فى أرض رملية بولاية فلوريدا الأمريكية — عدم وجود فروق يعتد بها بين استخدام مصادر النيتروجين النتراتية والأمونيومية فى التسميد (Hochmuth ١٩٩٢ ب). ونظرًا لحاجة الثمار إلى الكالسيوم — وخاصة فى مراحل ازديادها السريع فى الحجم — لذا .. يفضل استعمال نترات الكالسيوم كمصدر رئيسى للنيتروجين خلال تلك المرحلة.

ب- يستخدم حامض الفوسفوريك التجارى (٨٠٪ نقاوة، و٥٠٪ P_2O_5) كمصدر

للفوسفور، علمًا بأن الحامض يعمل على خفض pH ماء الرى؛ الأمر الذى يمنع ترسيب الفوسفور، حتى مع وجود الكالسيوم فى ماء الرى.

ج- يستعمل رائق سلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم

توزع كميات عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم المخصصة للمحصول على النحو التالى:

أ- يزداد معدل التسميد بالنيتروجين — تدريجيًا — إلى أن يصل إلى أقصى معدل له عند الإزهار وبداية مرحلة الإثمار، ثم تتناقض الكمية التى يسمد بها تدريجيًا إلى أن يتوقف التسميد نهائيًا قبل الحصاد بنحو أسبوعين.

ب- يزداد معدل التسميد بالفوسفور سريعًا بعد الزراعة إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد انقضاء نحو ربع موسم النمو (خلال مرحلة الإزهار)، ثم تتناقص الكمية المضافة تدريجيًّا إلى أن يتوقف التسميد بالفوسفور نهائيًّا قبل انتهاء الحصاد بنحو ثلاثة أسابيع.

ج- يزداد معدل التسميد بالبوتاسيوم ببطء إلى أن يصل إلى أقصى معدل له عندما يصبح قطر أوّل الثمار العاقدة على النبات — حوالى ١٥ سم، ثم تتناقص الكمية المضافة منه تدريجيًّا إلى أن يتوقف التسميد بالبوتاسيوم تمامًا قبل انتهاء الحصاد بنحو أسبوع واحد أو أسبوعين.

يتم التسميد مع ماء الرى بالتنقيط — عادة — ست مرات أسبوعيًّا، ويخصص اليوم السابع للرى بدون تسميد. وتوزع الأسمدة المخصصة لكل أسبوع على أيام التسميد الستة بأحد النظم التالية:

أ- تخلط جميع الأسمدة المخصصة لليوم الواحد، ويسمد بها، وهذا هو النظام المفضل، مع ملاحظة عدم خلط الأسمدة التى تحتوى على الكالسيوم مع الأسمدة التى تحتوى على أيون الفوسفات أو الكبريتات حتى لا يترسبا بتفاعلهما مع الكالسيوم.

ب- يخصص يومان للتسميد الآزوتي، ثم يوم للتسميد الفوسفاتي والبوتاسي.. وهكذا.

ج- تخصص ثلاثة أيام منفصلة للتسميد الآزوتي، والفوسفاتي، والبوتاسي، ثم تعاد الدورة.. وهكذا.

ويمكن — في حالة التسميد مع الري بالتنقيط — أن تحل الأسمدة المركبة السائلة أو السريعة الذوبان محل الأسمدة التقليدية، إذا كان استخدامها اقتصاديًّا، ويتوقف تركيب السماد المستخدم على مرحلة النمو النباتي؛ حيث يمكن استعمال سماد تركيبه ١٩-٦-٦ خلال الربع الأول من حياة النبات، يحلّ محله سماد تركيبه ٢٠-٥-١٥ في مرحلة الإزهار وبداية الإثمار، ثم بسماد تركيبه ١٥-٥-٣٠ عندما يصبح قطر الثمار الأولى حوالي ١٠ سم، وإلى ما قبل انتهاء الحصاد بنحو أسبوعين.

يكون استخدام هذه الأسمدة بكميات تفي بحاجة النباتات من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم. ونظرًا لأن العناصر الغذائية في تلك الأسمدة تكون جاهزة لامتصاص النبات مباشرة، ولا يفقد منها شيء؛ لذا .. يمكن عند استخدامها خفض كمية عنصري النيتروجين والبوتاسيوم الموصى بهما إلى نحو ٦٠ كجم نيتروجين، و٩٠ كجم K_2O للفدان. أما الفوسفور فتبقى الكمية الموصى بها بعد الزراعة — وهي ٣٥ كجم P_2O_5 للفدان — كما هي؛ نظرًا لأن التسميد المنفرد بالفوسفور يكون بحامض الفوسفوريك الجاهز للامتصاص السريع على أية حالة.

هذا .. ويتعين عدم التسميد — مع ماء الري — بالأسمدة التي تحتوي على أيوني الفوسفات (مثل حامض الفوسفوريك)، أو الكبريتات (مثل سلفات الأمونيوم، وسلفات البوتاسيوم) عند احتواء مياه الري على تركيزات عالية من الكالسيوم، لكي لا يترسبا بتفاعلهما مع الكالسيوم.

وإلى جانب عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم .. فإن النباتات تحتاج كذلك إلى بقية العناصر الكبرى، وهي: الكبريت، والمغنيسيوم، والكالسيوم.

يحصل النبات على حاجته من عنصر الكبريت — أساسًا — من كبريتات الأمونيوم، وكبريتات البوتاسيوم، وسوبر فوسفات الكالسيوم، والجبس الزراعى (الذى يستخدم لإصلاح الأراضى الشديدة القلوية — مع الغمر — كل سنتين)، والكبريت الزراعى (الذى يستعمل بغرض خفض pH التربة)، بالإضافة إلى ما يوجد من كبريت بالأسمدة الورقية، وبعض المبيدات. ولا توجد حاجة إلى أية إضافات أخرى من هذا العنصر.

كذلك يحصل النبات على حاجته من المغنيسيوم من سلفات المغنيسيوم التى تضاف قبل الزراعة، بالإضافة إلى ما يتوفر من العنصر فى الأسمدة الورقية؛ ولذا .. لا يحتاج الأمر إلى مزيد من التسميد بالمغنيسيوم إلا إذا ظهرت أعراض نقص العنصر، ويسمد — بكبريتات المغنيسيوم بمعدل ٥ كجم للفدان؛ إما رشًا، وإما مع ماء الرى بالتنقيط، مع تكرار المعاملة أسبوعيًّا إلى أن تختفى أعراض نقص العنصر.

أما الكالسيوم.. فيحصل النبات على معظم حاجته منه من سوبر فوسفات الكالسيوم، ومن نترات الكالسيوم، ومن الجبس الزراعى الذى قد تعامل به التربة، بالإضافة إلى ما يتوفر من العنصر فى الأسمدة المركبة.

وقد يفيد الرش بنترات الكالسيوم النقية (وهى سريعة الذوبان فى الماء) فى سد حاجة النبات السريعة إلى عنصر الكالسيوم، وهى تستخدم بمعدل ٢,٥ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان. ويستخدم بعض المزارعين رائق سماد نترات الجير (عبود) مع ماء الرى بالتنقيط؛ لسد حاجة النباتات من عنصر الكالسيوم.

ويستجيب البطيخ — كذلك — للتسميد بالعناصر الصغرى: الحديد، والزنك، والمنجنيز، والنحاس، ولكنها تتعرض للتثبيت إذا كانت إضافتها عن طريق التربة، أو مع ماء الرى، لأن هذه العناصر تثبت فى الأراضى القلوية، فى حين أن جميع الأراضى القاحلة قلوية، لذا .. لا يفضل إضافة هذه العناصر عن طريق التربة إلا فى صورة مخلبية.

ويمكن إضافة ملح الكبريتات لهذه العناصر بطريقة الرش بمعدل ١- ١,٥ كجم مع ٤٠٠ لتر ماء للفدان. وإذا استخدمت الصور المخلبية لهذه العناصر رشا على الأوراق .. فإنها تستعمل بمعدل ٠,٢٥- ٠,٥٠ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

أما عنصر البورون فإنه يضاف دائمًا فى صورة معدنية على صورة بوراكس؛ إما عن طريق التربة بمعدل ٥- ١٠ كجم للفدان، وإما رشًا على الأوراق بمعدل ١- ٢,٢٥ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

ويمكن استبدال الأسمدة المفردة — التى سبق ذكرها — بالأسمدة المركبة وهى كثيرة جدًا. تعطى رشة واحدة من أى من هذه الأسمدة فى المشتل قبل تقليع الشتلات بنحو أسبوع. أما فى الحقل الدائم فتعطى أربع رشات؛ تكون أولاها بعد الشتل بنحو ثلاثة أسابيع، ثم كل ثلاثة أسابيع بعد ذلك. أما عند الزراعة بالبذرة مباشرة فإن أول رشة تعطى فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الخامسة.

الكنتالوب

يستجيب القاوون (الكنتالوب) للتسميد العضوى الجيد، كما يستجيب البطيخ؛ ولذا .. يوصى بالاهتمام بالتسميد العضوى عند تجهيز الأرض، مع إضافة الأسمدة فى خنادق تحت خطوط النباتات لتصل إليها الجذور بعد الإنبات مباشرة أيًا كانت طبيعة التربة المستعملة.

احتياجات الكنتالوب من العناصر وأهمية التسميد

تمتص نباتات الكنتالوب نحو ١٠٠ كجم نيتروجين، و١٢ كجم فوسفور، و٨٠ كجم بوتاسيوم للفدان. وتنتقل معظم الكميات الممتصة إلى النموات الخضرية التى يصلها ٦٥ كجم نيتروجين، و٨ كجم فوسفور، و٤٧ كجم بوتاسيوم. ومع أن هذه الكميات تصل إلى التربة مرة أخرى عند قلب النباتات فيها بعد الحصاد، إلا أنها يجب أن تتوفر أولاً لمحصول الكنتالوب.

وقد قدرت كميات النيتروجين، والفوسفور (على صورة P_2O_5)، والبوتاسيوم (على صورة K_2O) اللازمة للفدان بنحو ٥٠ كجم، و٧٥ كجم، و١٠٠ كجم – على التوالى – فى الأراضى قليلة الخصوبة من الولايات المتحدة الأمريكية الشرقية، و٣٨–٥٠ كجم، و٧٥– ١٠٠ كجم، و٧٥– ١٠٠ كجم – على التوالى – فى أراضٍ قليلة الخصوبة فى ولاية ماساشوستس، و٩٠كجم، و٨٠ كجم، و١١٠ كجم – على التوالى – فى ولاية فلوريدا، و٤٧ كجم، و٢٨ كجم، و١٠ كجم – على التوالى – فى ولاية كاليفورنيا (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠). وفى ولاية إنديانا الأمريكية أعطى التسميد النيتروجينى بمعدل ٦٧ كجم/ هكتار (حوالى ٢٨ كجم N/ فدان) أعلى محصول من الكنتالوب (Bhella & Wilcox ١٩٨٩). وقد أعطيت جميع توصيات معدلات التسميد السابقة إما للكنتالوب الأمريكى، وإما لشهد العسل.

وفى جنوب إسبانيا يسمد كنتالوب الجاليا بمعدل ٢٠٠ كجم نيتروجينًا، و٢٥٠ كجم P_2O_5، و٤٠٠ كجم K_2O، و١٠٠– ١٥٠ كجم CaO (فى صورة نترات كالسيوم) للهكتار (حوالى ٨٤، و١٠٥، و١٦٨، و٤٢– ٦٣ كجم من الـ N، وP_2O_5، وK_2O، وCaO للفدان، على التوالى)، علمًا بأنه لا يسمد هناك بالمغنيسيوم.

وقد دُرس تأثير فرتجة الكنتالوب بمحلول مغذٍ مخفف التركيز إلى النصف، لكن مع رش النموات الخضرية أسبوعيًا بمستخلص مائى للكمبوست مخصب بالعناصر التى أضيفت أثناء عملية التخمير لتحفيز النشاط الميكروبى، ووجد أن تلك المعاملة (التى خُفِّض فيها تركيز المحلول المغذى إلى النصف) لم يصاحبها أى تأثيرات سلبية على كل من محتوى الأوراق من الكلوروفيل والإزهار وعقد الثمار، فى الوقت الذى أدت فيه عملية الرش بالمستخلص المائى للكمبوست إلى خفض تقدم الإصابة بالفطر *Golovinomyces cichoracearum* مسبب مرض البياض الدقيقى بنسبة ٣٨٪، مقارنة بخفض بنسبة ٢١٪ عندما كان الرش بالمبيد الفطرى داكونيل Daconil (Naidu وآخرون ٢٠١٣).

أهمية النيتروجين

ازداد محصول ثمار الكنتالوب الصالح للتسويق ومحتوى الثمار من النيتروجين خطيًّا مع زيادة مستوى التسميد بالنيتروجين حتى ١٦٥ كجم للهكتار (٧٠ كجم نيتروجين للفدان)، بينما لم تتأثر أى من صفات جودة الثمار — سواء عند الحصاد أو بعد التخزين — بمستوى التسميد الآزوتى. وقد انخفض محتوى الثمار من مضادات الأكسدة مع التخزين (Ferrante وآخرون ٢٠٠٧).

أهمية البوتاسيوم

يرتبط محتوى ثمار الكنتالوب مباشرة بانتقال السكروز فى نسيج اللحاء إلى الثمار؛ الأمر الذى ينظمه أيون البوتاسيوم. وفى محاولة لدراسة تأثير إضافات من البوتاسيوم عن طريق الرش الورقى خلال مراحل نمو الثمار واكتمال تكوينها.. رشت النباتات الكاملة — بما تحمله من ثمار — بالبوتاسيوم المكوَّن لمعقد مع الحامض الأمينى جليسين (التحضير: potassium metalosate ٢٤٪) — بعد تخفيفه إلى ٤,٠ مللى مول/ لتر — مرة واحدة أسبوعيًّا أو كل أسبوعين، ووجد أن البوتاسيوم الورقى أسرع اكتمال تكوين الثمار بنحو يومين، كما أدى الرش الأسبوعى إلى إحداث زيادة جوهرية فى محتوى الثمار من كل من البيتاكاروتين والسكروز عما فى حالة الرش كل أسبوعين. كما أدى الرش بالبوتاسيوم — بأى من المعدلين — إلى إحداث زيادات جوهرية فى كل من صلابة الثمار، ومحتواها من البوتاسيوم والسكريات الكلية وحامض الأسكوربيك والبيتاكاروتين، مقارنة بما حدث فى ثمار نباتات الكنترول (Lester وآخرون ٢٠٠٥).

وترتبط جودة ثمار الكنتالوب الشبكى (حامض الأسكوربيك، والبيتاكاروتين، والأحماض الأمينية الحرة الكلية، وتركيز المواد الصلبة الذائبة) — مباشرة — بتركيز البوتاسيوم فى النبات أثناء مراحل نمو الثمار واكتمال تكوينها. وخلال تلك المراحل لا يكون التسميد الأرضى بالبوتاسيوم كافيًا — غالبًا — بسبب ضعف امتصاص الجذور للعنصر، والتأثير التنافسى المثبط له من كل من الكالسيوم والمغنيسيوم. ولقد وجد أن

المعاملة الورقية بالبوتاسيوم فى المنتج التجارى potassium metalasate؛ (اختصارًا KM) أثناء تكوين الثمار يُحسن جودتها. وفى دراسة قورن فيها الرش الأسبوعى للنبات كله (بما فى ذلك الثمار) بالـ KM مع الرش بكلوريد البوتاسيوم بتركيز ٨٠٠ مجم/ لتر لكل منهما (مع التسميد الأرضى بالنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم)، بداية من بعد عقد الثمار بـ ٣–٥ أيام حتى ما قبل اكتمال التكوين بـ ٣–٥ أيام، ومع استخدام مادة ناشرة أو عدم استخدامها .. وجد أن ثمار النباتات التى عُوملت بالرش الورقى بالبوتاسيوم كانت أعلى جوهريًا فى محتوى البوتاسيوم باللب مقارنة بالمحتوى فى نباتات الكنترول التى لم تُعامل، كما كانت ثمار النباتات المعاملة أكثر صلابة خارجيًا وداخليًا، وأعلى فى محتوى المواد الصلبة الذائبة والسكريات الكلية وحامض الأسكوربيك والبيتاكاروتين عما فى ثمار نباتات الكنترول، وأدى استعمال المادة الناشرة إلى زيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة والبيتاكاروتين مقارنة بعدم استعمالها (Lester وآخرون ٢٠٠٦).

وقد أحدث رش نباتات الكنتالوب — النامى فى تربة جيرية — متأخرًا فى موسم النمو بأى من مصادر البوتاسيوم: كلوريد البوتاسيوم، أو كبريتات البوتاسيوم، أو الـ potassium metalosate، أو فوسفات أحادى البوتاسيوم، أو ثيوسلفات البوتاسيوم (وليس نترات البوتاسيوم).. أحدث ذلك تحسنًا فى جودة الثمار فى صورة زيادة فى محتواها من البوتاسيوم والسكريات وفيتامين C والبيتاكاروتين بنسب تراوحت بين ١٥٪، و٢١٪، حتى مع توفر البوتاسيوم فى التربة؛ مما يدل على أن بوتاسيوم التربة — فقط — ليس كافيًا لتحسين تلك الصفات (Jifon & Lester ٢٠٠٩).

وبالمقارنة.. جرت محاولة لخفض محتوى ثمار الكنتالوب من البوتاسيوم، وذلك لصالح مرضى الكلى الذين لا يمكنهم التمتع باستهلاك هذا المحصول الغنى بالبوتاسيوم، والذى يزيد من متاعبهم الصحية. وقد وجد اتجاه عام نحو انخفاض محتوى الثمار من البوتاسيوم مع خفض تركيز نترات البوتاسيوم فى المحلول المغذى،

دون أن يتسبب ذلك فى حدوث خفض جوهرى فى محصول الثمار أو النمو النباتى؛ باستثناء الوزن الجاف للنمو الجذرى الذى انخفض مع خفض تركيز نترات البوتاسيوم. هذا إلاّ أن خفض البوتاسيوم صاحبه — كذلك — نقص فى محتوى الثمار من حامض الستريك والمواد الصلبة الذائبة الكلية (Asao وآخرون ٢٠١٣).

أهمية الكالسيوم

يظهر بثمار الكنتالوب عيب فسيولوجى يعرف باسم التزجج vitrescence حيث يكون لون اللب أكثر دكنة، ويبدو بمظهر زجاجى وقوام مائع deliquescent. وقد وجد عند وقف التغذية بالكالسيوم عندما كانت الثمار التى يحملها النبات صغيرة الحجم (وهى بعمر ٣–٢٠ يوميًّا) لمدة ١٧ يومًا أن ٥٠٪ – ١٠٠٪ من الثمار ظهرت بها حالة التزجج، وكان محتواها من الكالسيوم أقل مما فى ثمار الكنترول، وظهرت علاقة بين حدوث حالات التزجج ومحتوى لب الثمار من الكالسيوم. هذا وقد أحدث نقص الكالسيوم ضررًا دائمًا لم يُصحح بمعاودة التغذية بالعنصر. وفى المقابل .. وجد عند وقف التغذية بالكالسيوم فى مرحلة متقدمة من تكوين الثمار (بعد ٢٠ يومًا من تفتح الزهرة) أن الشدّ الناشئ عن نقص الكالسيوم لم يكن مؤثرًا؛ لأن العنصر كان قد تراكم بالفعل فى الثمار؛ ومن ثم لم يكن لذلك النقص سوى تأثير محدود على حالة التزجج. هذا .. ولم تظهر حالة التزجج على ثمار النباتات التى زُوّدت بالكالسيوم فى المحلول المغذى طوال فترة نموها (Jean-Babtiste وآخرون ١٩٩٩).

وتأكيدًا لما تقدم بيانه .. وجد أن ظاهرة القلب المائى watercore (أو التزجج glassiness) تزداد فى ثمار نباتات الكنتالوب التى تعطى محاليل مغذية فقيرة فى الكالسيوم، كما تكون تلك الثمار أكثر تبكيرًا، وأقل صلابة وينخفض محتواها من الكالسيوم. وترتبط الظاهرة وطراوة الثمار فى تلك الثمار بزيادة فى نشاط الـ β-galactosidse فيها (Serrano وآخرون ٢٠٠٢).

وقد تبين أن نقص الكالسيوم فى المحاليل المغذية للكنتالوب أدى إلى إسراع فقد الثمار لصلابتها مع تعرضها للتخمر الكحولى وزيادة إنتاجها للإيثلين، مقارنة بما حدث فى ثمار

النباتات التى تلقت حاجتها من الكالسيوم، لكن حدث العكس بالنسبة لتراكم السكروز. ويعنى ذلك أن طراوة الثمار لم يكن مردها إلى نقص تواجد الكالسيوم فى الجدر الخلوية وإنما إلى تحفيز نقص الكالسيوم لإنتاج الإيثلين. كما لم يؤدى نقص الكالسيوم — بالضرورة — إلى ظهور أعراض النسيج المائى المظهر بالثمار (Nishizawa وآخرون ٢٠٠٤).

أهمية السيليكون

وجد أن تزويد المحاليل المغذية للكنتالوب فى مزرعة مائية بالسيليكون بتركيز ١,٠ مللى مول/ لتر سيليكون فى صورة سيليكات الصوديوم أثناء النمو فى حرارة منخفضة (١٠– ١٥°م) يؤدى إلى زيادة النمو الجذرى ونسبة النمو الجذرى إلى النمو الخضرى جوهريًا دون التأثير على النمو الخضرى. كما أدى التزود بالسيليكون إلى زيادة المحصول المبكر؛ الأمر الذى كان مصاحبًا بالإزهار المبكر والعقد على عُقد أدنى على الساق، وانخفاض فى معدل حالات إجهاض نمو الثمار. كذلك أدت معاملة السيليكون إلى زيادة محتوى الكلوروفيل وزيادة محتوى الجذور والأوراق من السيليكون، مع انخفاض فى معدل النتح (Lu & Cao ٢٠٠٢).

تعرُّف الحاجة إلى التسميد من تحليل النبات

يستفاد من نتائج الاختبارات السريعة لتقديرات النترات فى أعناق الأوراق فى تعرف مدى الحاجة إلى التسميد بالنيتروجين، وذلك كما يلى (عن Hartz& Hochmuth ١٩٩٦):

مرحلة النمو	محتوى عصير أعناق الأوراق (مجم/لتر) من النيتروجين النتراتى	محتوى الأوراق على أساس الوزن الجاف (جم/كجم) من	
		النيتروجين	البوتاسيوم
بداية الإزهار	١٠٠٠– ١٢٠٠	٤٠–٥٠	٥٠– ٦٠
عندما تكون الثمرة الأولى بقطر ٥ سم	٨٠٠– ١٠٠٠	٤٠– ٥٠	٤٥– ٥٠
عند بداية الحصاد	٧٠٠– ٨٠٠	٣٥– ٤٥	٢٠– ٤٠

ويمكن الاسترشاد بالمدى الطبيعي لتركيز مختلف العناصر في الورقة الخامسة من القمة النامية — في مختلف مراحل النمو — في التعرف على مدى حاجة النباتات إلى التسميد، كما في جدول (٥-٢).

جدول (٥-٢): المدى الطبيعي لتركيز مختلف العناصر في الورقة الخامسة من القمة النامية للكنتالوب في مراحل النمو المختلفة.

العنصر	مرحلة النمو		
	الإزهار وبداية العقد	بداية العقد إلى الحصاد	جميع مراحل النمو
العناصر الكبرى (٪)			
النيتروجين	٤,٥–٥,٥	٤,١٠–٥,٠٠	–
الفوسفور	٠,٣–٠,٨	٠,٢٥–٠,٨٠	–
البوتاسيوم	٤,٠–٥,٠	٣,٦٠–٥,٠٠	–
المغنيسيوم	٠,٣٥–٠,٨٠	٠,٣٥–٠,٨٠	–
الكالسيوم	٢,٣–٣,٠	٢,٣٠–٣,٢٠	–
الكبريت	٠,٢٥–١,٤٠	٠,٢٠–١,٤٠	–
العناصر الصغرى (جزء في المليون)			
البورون	–	–	٢٥–٦٠
النحاس	–	–	٧–٣٠
الحديد	–	–	٥٠–٣٠٠
المنجنيز	–	–	٥٠–٢٥٠
الموليبدنم	–	–	–
الزنك	–	–	٢٠–٢٠٠

وإذا أجرى التحليل على أعناق الأوراق (عنق الورقة السادسة من القمة النامية للساق الرئيسية أو الفروع)، فإن مستويات النقص والكفاية لعناصر النيتروجين،

والفوسفور، والبوتاسيوم في مختلف مراحل النمو تكون كما في جدول (٥-٣).

جدول (٥-٣): علاقة مستوى العناصر الأولية في نباتات الكنتالوب بحاجتها إلى التسميد (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

مرحلة النمو	العنصر (ووحدة القياس)	تركيز العنصر[أ]	
		مستوى النقص	مستوى الكفاية
المراحل المبكرة للنمو	NO_3 (جزء في المليون)	٨٠٠٠	١٢٠٠٠
	PO_4 (جزء في المليون)	٢٠٠٠	٤٠٠٠
	البوتاسيوم الذائب (٪)	٤	٦
عند بداية الإثمار	NO_3 (جزء في المليون)	٥٠٠٠	٩٠٠٠
	PO_4 (جزء في المليون)	١٥٠٠	٢٥٠٠
	البوتاسيوم الذائب (٪)	٣	٥
عند نضج أول ثمرة	NO_3 (جزء في المليون)	٢٠٠٠	٤٠٠٠
	PO_4 (جزء في المليون)	١٠٠٠	٢٠٠٠
	البوتاسيوم الذائب (٪)	٢	٤

(أ) أجريت التحاليل على عنق الورقة السادسة من القمة النامية للفروع. تستجيب النباتات للتسميد إذا كان تركيز العنصر ما بين مستويا النقص والكفاية، خاصة في مراحل النمو الأولى. ويدل انخفاض التركيز عن مستوى النقص على أن النباتات قد تأثرت من جرّاء ذلك.

أمور يوصى بمراعاتها عند التسميد

من الأمور التي يوصى بمراعاتها عند تسميد الكنتالوب ما يلي:

١- تفضل إضافة الآزوت خلال المراحل الأولى للنمو النباتي في صورة سلفات نشادر عند ارتفاع درجة الحرارة عن ٢٥°م، وفي صورة يوريا عند انخفاضها عن ذلك، او استعمال مخلوط من السمادين، أو استعمالهما بالتبادل في حالة إضافة الأسمدة مع مياه الرى بالتنقيط. أما خلال مراحل الإزهار، والعقد، ونمو الثمار فتفضل إضافة

النيتروجين فى صورة نترات نشادر، كما يوصى خلال مراحل نمو الثمار إضافة جزء من النيتروجين فى صورة نترات كالسيوم (١٥,٥٪ N، و٢٠٪ CaO)، لما للكالسيوم من أهمية فى تحسين صلابة الثمار وتحملها للشحن والتخزين.

٢- عند زيادة ملوحة مياه الرى يعتمد على اليوريا كمصدر للنيتروجين، بهدف الحد من كمية الأملاح المستعملة فى التسميد، مع توزيع كميات الأسمدة المخصصة للأسبوع على ستة أيام بدلاً من أربعة.

٣- يراعى وقف التسميد الآزوتى أو خفضه إلى أدنى مستوى ممكن خلال مرحلة التزهير، ثم معاودة التسميد بالنيتروجين بعد الاطمئنان إلى عقد أعداد كافية من الثمار بكل نبات.

٤- إذا أضيرت النموات الخضرية بسبب تعرضها لرياح حارة أو باردة، أو لظروف الجفاف أو الصقيع فإنه يجب إعطاء النباتات جرعات سريعة متتالية من اليوريا حتى يتحسن النمو الخضرى، ثم يعاود برنامج التسميد العادى من جديد.

٥- يفيد خفض معدلات التسميد الآزوتى قرب اكتمال نضج الثمار فى تحسين نكهتها وزيادة محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية.

٦- يزيد معدل تنفس الثمار وإنتاجها للإثيلين فى المزارع الرملية التى تعطى معدلات عالية من النيتروجين الأمونيومى وكلوريد الكالسيوم عن تلك التى تسمد بنيتروجين نتراتى وكربونات كالسيوم (عن Kanahama ١٩٩٤).

٧- عندما يكون الرى سطحيًّا بطريقة الغمر فإن كل كمية السوبر فوسفات الموصى بها تضاف مع الأسمدة العضوية السابقة للزراعة فى جميع أنواع الأراضى طالما كانت نسبة الجير (كربونات الكالسيوم) فى التربة لا تزيد عن ١٠٪. وبخلاف ذلك تفضل إضافة نصف كمية السوبر فوسفات قبل الزراعة، والنصف الآخر إلى جانب النباتات أثناء مرحلة التزهير مع الترديم عليها بالعزيق.

٨- أما فى حالة الرى بالتنقيط فإن جزءًا من الفوسفور يضاف أثناء النمو مع مياه الرى على صورة حامض فوسفوريك تجارى (٨٠٪ نقاوة، و٥٠٪ P_2O_5)، وهو يستعمل — عادة — بمعدل ٢٠٠– ٣٠٠ سم³ (مل)/ لتر مكعب من مياه الرى — إلا أن الكمية المضافة يجب أن تُحدد بصورة أكثر دقة وفقًا لمرحلة النمو، ودون ارتباط بكمية ماء الرى المستعملة. هذا علمًا بأن الحامض يعمل على خفض pH ماء الرى؛ الأمر الذى يمنع ترسيب الفوسفور، حتى مع وجود الكالسيوم فى ماء الرى.

٩- يستعمل رائق سلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم.

كميات وبرامج التسميد

نظرًا لاختلاف طرق ومعدلات التسميد باختلاف طريقة إنتاج المحصول، فإننا نتناول الموضوع حسب طريقة الزراعة، كما يلى:

أولا: التسميد فى حالة الزراعة المسقاوى مع الرى بالغمر

تتوقف طريقة التسميد التى تتبع فى حالة الزراعة المسقاوى مع الرى بالغمر على نوع التربة، كما يلى:

١- فى حالة أراضى الوادى والدلتا (الأراضى السوداء)

تضاف الأسمدة السابقة للزراعة مرة واحدة أثناء إعداد الحقل للزراعة، والتى تضمن تواجد السماد قريبًا من جذور النباتات، ويلى ذلك رى الحقل، ثم يترك حتى يستحرث قبل زراعة البذور، وتقتصر الزراعة فى أراضى الوادى والدلتا — غالبًا — على أصناف الشمام، وشهد العسل، والأناناس. ويتكون السماد السابق للزراعة — عادة — من نحو ٢٥ م³ من السماد البلدى التام التحلل، أو نحو ١٥ م³ من سماد الكتكوت، أو مخلوط منهما، مع ٣٠٠ كجم من سماد السوبر فوسفات العادى (٤٥ وحدة فوسفور)، و٥٠ كجم من سلفات النشادر (١٠ وحدات نيتروجين)، و٥٠ كجم من سلفات البوتاسيوم (٢٥ وحدة بوتاسيوم)، و ٥٠– ١٠٠ كجم من الكبريت الزراعى.

وإلى جانب تلك الكميات من الأسمدة الكيميائية التى تضاف مع السماد العضوى قبل الزراعة، فإن حقول الشمام، والكنتالوب بأنواعه، والأناناس تسمد — كذلك — أثناء نمو النباتات، كما يلى:

أ- الموعد الأول بعد الخف، ويضاف فيه ١٠٠ كجم سلفات نشادر (٢٠وحدة نيتروجين)، و١٠٠ كجم سوبر فوسفات الكالسيوم العادى (١٥ وحدة فوسفور) للفدان.

ب- الموعد الثانى عند الإزهار، ويضاف فيه ١٠٠ كجم نترات نشادر (٣٣ وحدة نيتروجين)، و١٠٠ كجم سلفات بوتاسيوم (٥٠ وحدة بوتاسيوم) للفدان.

ج- الموعد الثالث أثناء نمو الثمار، ويضاف فيه ١٠٠ كجم نترات كالسيوم (١٥ وحدة نيتروجين، و٢٠ وحدة كالسيوم)، و٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم (٢٥ وحدة بوتاسيوم) للفدان.

وبذا يكون إجمالى الكميات المضافة من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم — قبل وبعد الزراعة — كما يلى: ٧٨ وحدة نيتروجين، و٦٠ وحدة فوسفور، و١٠٠ وحدة بوتاسيوم.

وتضاف الأسمدة الكيميائية "تكبيشًا" إلى جانب النباتات فى كل مواعيد التسميد نظرًا لاتساع المسافة بين الجور، ويردم عليها أثناء العزيق.

٢- فى حالة الأراضى الرملية

يسمد الشمام، والكنتالوب، والأناناس فى الأراضى الرملية التى تروى سطحيًا عبر قنوات المصاطب مثلما يكون التسميد فى أراضى الوادى والدلتا، ولكن مع إضافة حوالى ٥٠ كجم سلفات مغنيسيوم إلى الأسمدة الكيميائية السابقة للزراعة، وتوزيع كميات الأسمدة المقررة أثناء النمو النباتى على ستة مواعيد بدلاً من ثلاث، تكون بعد الخف، وبعد ذلك بأسبوعين، وعند الإزهار، وبعد ذلك بأسبوعين، وعند تكون ثمار صغيرة، وبعد ذلك بأسبوعين.

ثانيًا: التسميد فى الأراضى الرملية مع اتباع طرق الرى الحديثة

توضع الأسمدة العضوية والكيميائية السابقة للزراعة فى خنادق يتم عملها فى منتصف مصاطب الزراعة بالطريقة التى أسلفنا بيانها تحت طرق الزراعة، وبالكميات التالية:

التسميد العضوى السابق للزراعة

٤٠ م³ كومبوست تام التحلل أو ٣٠ م³ سماد بلدى تام التحلل

أو ١٥م³ سماد بلدى + ١٠م³ سماد كتكوت أو ١٥م³ سماد كتكوت

التسميد الكيميائى السابق للزراعة

العنصر	الكمية (كجم/ فدان)	السماد	الكمية
N	٢٠	سلفات نشادر	١٠٠
P_2O_5	٦٠	سوبر فوسفات	٤٠٠
K_2O	٢٥	سلفات بوتاسيوم	٥٠
MgO	١٠	سلفات مغنسيوم	١٠٠
S	١٠٠	زهر الكبريت	١٠٠

أما تفاصيل عملية التسميد أثناء النمو النباتي فإنها تتوقف على طريق رى المحصول، كما يلى:

١- فى حالة الرى بالرش

لا يوصى باتباع طريقة الرى بالرش فى إنتاج الكنتالوب إلا عند الضرورة، وشريطة أن تكون المياه المستعملة فى الرى عذبة تمامًا، والجو شديد الجفاف. ويلزم عند اتباع طريقة الرى بالرش زيادة كمية سماد السوبر فوسفات المستعملة قبل الزراعة إلى ٦٠٠ كجم للفدان، مع إضافة الأسمدة الكيميائية أثناء النمو النباتى، كما يلى:

مرحلة النمو	السماد المستعمل	كمية السماد للفدان (كجم)	وحدات السماد للفدان
بعد الخف	اليوريا	٢٥	١٢,٥
بعد أسبوعين من الخف	سلفاتُ النشادر	٧٥	١٥
عند الإزهار	نترات النشادر	٦٠	٢٠
	سلفات البوتاسيوم	٧٥	٣٧,٥
بعد الإزهار بأسبوعين	نترات النشادر	٦٠	٢٠
	سلفات البوتاسيوم	٧٥	٣٧,٥
عند تكوين ثمار صغيرة	نترات الكالسيوم	٥٠	٧,٥
	سلفات البوتاسيوم	١٠٠	٥٠
بعد ذلك بنحو أسبوعين	نترات الكالسيوم	٥٠	٧,٥
	سلفات البوتاسيوم	٥٠	٢٥

وبذا تكون الكميات الإجمالية المضافة من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم — قبل الزراعة وبعدها — كما يلي: ٨٢,٥ وحدة نيتروجين، و٩٠ وحدة فوسفور، و١٧٥ وحدة بوتاسيوم.

تخلط الأسمدة معًا وتضاف نثرًا حول قاعدة النباتات. كذلك يمكن التسميد مع ماء الرى بالرش خلال النصف الثانى من حياة النبات، حينما تكون جذوره قد تشعَّبت فى الحقل إلى درجة تسمح بأكبر استفادة ممكنة من الأسمدة المضافة التى تتوزع مع ماء الرى فى كل الحقل. ويلزم فى هذه الحالة تشغيل جهاز الرى بالرش أولاً بدون سماد، لمدة تكفى لبل سطح التربة، وبل أوراق النبات، وإلا فقد السماد بتعمقه فى التربة مع ماء الرى. يلى ذلك إدخال السماد مع ماء الرى لمدة تكفى لتوزيعه بطريقة متجانسة فى الحقل، ويعقب ذلك الرى بدون تسميد لمدة ٥ دقائق، بغرض غسل السماد من على الأوراق، وتحريكه فى التربة، والتخلص من آثاره فى جهاز الرى بالرش.

وتلاحظ زيادة كميات عناصر النيتروجين والبوتاسيوم التى تسمد بها نباتات الكنتالوب بعد الزراعة عند اتباع طريقة الرى بالرش فى الأراضى الرملية عما يكون عليه

الحال عند الري بأي من طريقتي الغمر أو التنقيط، وذلك بسبب فقد كميات كبيرة نسبيًا من الأسمدة المضافة مع مياه الري بالرش في أماكن من الحقل لا تصل إليها جذور النباتات. كما أن الأسمدة التي تضاف نثرًا بالقرب من قواعد النباتات لا تستفيد منها النباتات كذلك بصورة كاملة نظرًا لوجود الأسمدة على سطح التربة بعيدة عن الجذور، حيث يتعين ذوبانها بصورة كالة وانتقالها مع مياه الري إلى مكان نمو الجذور.

٢- في حالة الري بالتنقيط

إلى جانب الأسمدة الكيميائية التي تضاف قبل الزراعة، فإن كنتالوب الجاليا يسمد أثناء نمو النباتات – عند اتباع طريقة الري بالتنقيط في الأراضي الرملية – بكميات العناصر التالية:

أ- في العروة الخريفية: ٣٥ وحدة نيتروجين، و٣٥ وحدة فوسفور، و١٣٠ وحدة بوتاسيوم.

ب- في عروة الأنفاق: ٥٠ وحدة نيتروجين، و٥٠ وحدة فوسفور، و١٥٠ وحدة بوتاسيوم

ويرجع الفرق في كميات الأسمدة الموصى بها بين العروتين إلى زيادة فترة بقاء النباتات في الأرض في عروة الأنفاق بنحو شهرين عما في العروة الخريفية.

وبذلك يكون إجمالي الكميات المستعملة من العناصر الكبرى – قبل الزراعة وأثناء النمو النباتي – في العروتين، كما يلي:

أ- في العروة الخريفية: ٥٥ وحدة نيتروجين، و٩٥ وحدة فوسفور، و١٥٠ وحدة بوتاسيوم.

ب- في عروة الأنفاق: ٧٠ وحدة نيتروجين، و١١٠ وحدة فوسفور، و١٧٠ وحدة بوتاسيوم.

ويوصي المؤلف بأن يكون نظام التسميد مع مياه الري في العروة الخريفية حسب البرنامج الموضح في جدول (٥-٤).

جدول (٥-٤): برنامج تسميد الكنتالوب مع مياه الرى فى العروة الخريفية[أ].

الأسبوع	N		P_2O_5		K_2O	
(النسبة السمادية)	(كجم / فدان)	السماد (كجم/ فدان)	(كجم/ فدان)	السماد (كجم/ فدان)	(كجم/ فدان)	السماد (كجم/ فدان)
١	–	–	–	–	–	–
٢ (٣-٢-١)	٣,٠	يوريا (٦)	٢,٠	حامض فوسفوريك (٤)	١,٠	سلفات بوتاسيوم (٢)
٣ (٣-٢-١)	٨,٠	سلفات نشادر (٤٠)	٥,٠	حامض فوسفوريك (١٠)	٢,٥	سلفات بوتاسيوم (٥)
٤ (٣-٢-١)	٨,٠	سلفات نشادر (٤٠)	٥,٠	حامض فوسفوريك (١٠)	٢,٥	سلفات بوتاسيوم (٥)
٥ (٢-٣-٢)	٥,٠	نترات أمونيوم (١٥)	٧,٥	حامض فوسفوريك (١٥)	٥,٠	سلفات بوتاسيوم
٦ (١-٢-٦)	٢,٥	نترات أمونيوم (٧,٥)	٥,٠	حامض فوسفوريك (١٠)	١٥,٠	سلفات بوتاسيوم
٧ (١-٢-٦)	٢,٥	نترات أمونيوم (٧,٥)	٥,٠	حامض فوسفوريك (١٠)	١٥,٠	سلفات بوتاسيوم
٨ (١-١-٨)	٢,٥	نترات كالسيوم (١٧)	٢,٥	حامض فوسفوريك (٥)	٢٠,٠	سلفات بوتاسيوم
٩ (١-١-١٦)	١,٢٥	نترات كالسيوم (٨)	١,٢٥	حامض فوسفوريك (٢,٥)	٢٠,٠	سلفات بوتاسيوم (٤٠)
١٠ (١-١-١٦)	١,٢٥	نترات كالسيوم (٨)	١,٢٥	حامض فوسفوريك (٢,٥)	٢٠,٠	سلفات بوتاسيوم (٤٠)
١١ (١-١-١٢)	١,٢٥	نترات كالسيوم (٨)	١,٢٥	حامض فوسفوريك (٢,٥)	١٥,٠	سلفات بوتاسيوم (٣٠)
١٢ (صفر- صفر -١)	–		–		١٥,٠	سلفات بوتاسيوم
	٣٥,٢٥		٣٥,٧٥		١٣١,٠٠	
التسميد السابق للزراعة	٢٠,٠٠		٦٠,٠٠		٢٠,٠٠	
الإجمالى (١-١,٨-٢,٨)	٥٥,٢٥		٩٥,٧٥		١٥١,٠٠	

أ- توزع كميات الأسمدة المبينة فى الجدول على خمسة أو ستة أيام أسبوعيًا، مع تخصيص اليوم أو اليومين الباقيين للرى بدون تسميد لمنع تراكم الأملاح فى التربة.

أما نظام التسميد مع مياه الرى فى عروة الأنفاق فإن المؤلف يوصى بالبرنامج الموضح فى جدول (٥-٥)

وإلى جانب برامج التسميد التى أوصى بها المؤلف والتى أسلفنا بيانها، فإنه تتوفر برامج أخرى أوصت بها جهات مختلفة، نذكر منها برنامجين، كما يلى:

جدول ٥-٥): برنامج تسميد الكنتالوب مع مياه الرى فى عروة الأنفاق[أ]

الأسبوع	N		P_2O_5		K_2O	
(النسبة السمادية)	(كجم / فدان)	السماد (كجم/ فدان)	(كجم/ فدان)	السماد (كجم/ فدان)	(كجم/ فدان)	السماد (كجم/ فدان)
١	–	–	–	–	–	–
٢ (٣-٢-١)	١,٥	يوريا (٣)	١	حامض فوسفوريك (٢)	٠,٥	سلفات بوتاسيوم (١)
٣ (٣-٢-١)	٢	يوريا (٤)	١,٢٥	حامض فوسفوريك (٢,٥)	٠,٧٥	سلفات بوتاسيوم
٤ (٤-٣-١,٥)	٤	سلفات نشادر	٣	حامض فوسفوريك (٦)	١,٥	سلفات بوتاسيوم (٣)
٥ (٣-٢-١)	٦	يوريا (١٢)	٤	حامض فوسفوريك (٨)	٢	سلفات بوتاسيوم (٤)
٦ (١-١-١)	٥	سلفات نشادر	٥	حامض فوسفوريك (١٠)	٥	سلفات بوتاسيوم (١٠)
٧ (١-١-١)	٥	يوريا (١٠)	٥	حامض فوسفوريك (١٠)	٥	سلفات بوتاسيوم (١٠)
٨ (١-١,٥-٢)	٤	نترات نشادر	٦	حامض فوسفوريك (١٢)	٨	سلفات بوتاسيوم (١٦)
٩ (١-١,٥-٢)	٤	نترات نشادر	٦	حامض فوسفوريك (١٢)	٨	سلفات بوتاسيوم (١٦)
١٠ (١-٢-٤)	٢,٥	نترات نشادر	٥	حامض فوسفوريك (١٠)	١٠	سلفات بوتاسيوم (٢٠)
١١ (١-١-٤)	٢,٥	نترات نشادر	٢,٥	حامض فوسفوريك (٥)	١٠	سلفات بوتاسيوم (٢٠)
١٢ (١- ١ -٤)	٢,٥	نترات نشادر	٢,٥	حامض فوسفوريك (٥)	١٠	سلفات بوتاسيوم (٢٠)
١٣ (١-١-٦)	٢,٥	نترات كالسيوم	٢,٥	حامض فوسفوريك (٥)	١٥	سلفات بوتاسيوم (٣٠)
١٤ (١-١-٥)	٢	نترات كالسيوم	٢	حامض فوسفوريك (٤)	١٠	سلفات بوتاسيوم (٢٠)
١٥ (١-١-٥)	٢	نترات كالسيوم	٢	حامض فوسفوريك (٤)	١٠	سلفات بوتاسيوم (٢٠)
١٦ (١-١-٨)	١,٢٥	نترات كالسيوم	١,٢٥	حامض فوسفوريك (٢,٥)	١٠	سلفات بوتاسيوم (٢٠)
١٧ (١-١-٨)	١,٢٥	نترات كالسيوم	١,٢٥	حامض فوسفوريك (٢,٥)	١٠	سلفات بوتاسيوم (٢٠)
١٨ (١-صفر-١٠)	١	نترات كالسيوم		–	١٠	سلفات بوتاسيوم (٢٠)
١٩ (١-صفر-١٠)	١	نترات كالسيوم		–	١٠	سلفات بوتاسيوم (٢٠)
٢٠ (صفر-صفر-١)	–	–	–	–	١٠	سلفات بوتاسيوم (٢٠)
٢١ (صفر-صفر-١)	–	–	–	–	٥	سلفات بوتاسيوم (١٠)
	٥٠,٠٠		٥٠,٢٥		١٥٠,٧٥	
التسميد السابق	٢٠,٠٠		٦٠,٠٠		٢٠,٠٠	
الإجمالى (١-١,٦-١-	٧٠,٠٠		١١٠,٢٥		١٧٠,٧٥	

(أ) توزع كميات الأسمدة المبينة فى الجدول على أربعة أو خمسة أيام أسبوعيًا ، مع تخصيص الأيام الباقية للرى بدون تسميد لمنع تراكم الأملاح فى التربة.

• برنامج للتسميد مع مياه الرى بالتنقيط أوصت به وزارة الزراعة واستصلاح الأراضى — جمهورية مصر العربية (١٩٦٦) لعروة الأنفاق.

يكون التسميد — خلال مختلف مراحل النمو النباتى — بمعدل ٤ مرات أسبوعيًّا مع مياه الرى بالتنقيط ، وبكميات الأسمدة التالية:

١- مرحلة النمو الخضرى من بعد نجاح الشتل أو اكتمال الإنبات إلى ما قبل الإزهار مباشرة:

يستعمل فى كل مرة تسميد ٢ كجم سلفات نشادر، و٢ كجم يوريا، و٠,٥ كجم حامض فوسفوريك، و٤ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان.

٢- مرحلة الإزهار وبداية عقد الإثمار:

يستعمل فى كل مرة تسميد ٢ كجم نترات نشادر، و٠,٥ كجم حامض فوسفوريك، و٤ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان.

٣- مرحلة النمو الثمرى حتى قرب اكتمال نمو الثمار:

يستعمل فى كل مرة تسميد ١,٥ كجم سلفات نشادر، و٥ كجم نترات نشادر، و٠,٥ كجم حامض فوسفوريك، و٨ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان.

٤- مرحلة اكتمال نمو الثمار حتى قبل بداية الحصاد بفترة قصيرة:

يستعمل فى كل مرة تسميد ٢ كجم نترات نشادر، و٤ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان.

• برنامج للتسميد أوصت به إحدى شركات البذور:

إلى جانب التسميد السابق للزراعة، فإن الكنتالوب يسمد مع مياه الرى — بعد اكتمال الإنبات، أو بعد نحو ٤ أيام من الشتل — بأسمدة ذائبة تحتوى على كميات إجمالية من العناصر الأولية تقدر بنحو ٥٠ كجم من النيتروجين، و٦٥ كجم من خامس أوكسيد الفوسفور P_2O_5، و١٠٠ كجم من أكسيد البوتاسيوم K_2O للفدان، وذلك حسب البرنامج المبين فى جدول (٥-٦).

جدول (٥-٦): برنامج التسميد اليومى للكنتالوب من خلال شبكة الرى بالتنقيط فى الأراضى الرملية [أ].

البيان	مرحلة النمو			
	من أكتمال الإنبات أو نجاح الشتل حتى تكوين ٦ أوراق	من مرحلة تكوين ٦ أوراق حتى بداية العقد	من بداية العقد حتى أكتمال حجم الثمار	من أكتمال الثمار فى الحجم حتى ١٥ يومًا قبل القطف
فترة التسميد (يوم)	١٥	٢٠	٢٠	٣٠
النيتروجين (كجم / فدان)	٠,٦	٠,٨	٠,٦	٠,٤
الفوسفور P_2O_5 (كجم/ فدان)	٠,٦	١,٦	٠,٦	٠,٤
البوتاسيوم K_2O (كجم/فدان)	٠,٦	٠,٨	١,٨	١,٢
النسبة السمادية	١-١-١	١-٢-١	١-١-٣	١-١-٣
إجمالى النيتروجين (كجم/فدان) للمرحلة	٩	١٦	١٢	١٢
إجمالى الفوسفور P_2O_5 (كجم/فدان) للمرحلة	٩	٣٢	١٢	١٢
إجمالى البوتاسيوم K_2O (كجم/فدان) للمرحلة	٩	١٦	٣٦	٣٦

(أ) تكون إضافة كميات الأسمدة المبينة فى الجدول بالإضافة إلى التسميد السابق للزراعة، والذى أسلفنا الإشارة إليه.

التسميد بالعناصر الدقيقة

يحضر محلول العناصر الدقيقة بإذابة ٥٠ جم حديد مخلبى، و٢٥ جم زنك مخلى، و٢٥ جم منجنيز مخلبى، و١٠ جم كبريتات نحاس فى ١٠٠ لتر ماء، ويضاف إلى المحلول ١٠٠ جم يوريا لتحسين امتصاص الأوراق للعناصر الدقيقة. ترش النموات الخضرية بهذا المحلول كل أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع.

كذلك يمكن التسميد بعناصر الحديد، والزنك، والمنجنيز، والنحاس المخلبية عن طريق التربة — مع مياه الرى بالتنقيط — بمعدل مرة كل أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع. أما الصور غير المخلبية من تلك العناصر فإنها لا تستعمل إلا رشًا.

كما يتم التسميد بالبورون ضمن العناصر الدقيقة المستعملة، وتفضل إضافته رشًّا. وتعطى عناية خاصة للتسميد بالبورون خلال مرحلة الإزهار، حيث ترش به النباتات — آنذاك — ثلاث مرات على فترات أسبوعية، لِما لذلك من أهمية فائقة فى عملية التلقيح.

الخيار

قبل التطرق إلى برامج تسميد الخيار التى يوصى بها فى مختلف الظروف، فإننا نستعرض أولاً احتياجات النبات من مختلف العناصر المغذية وكيفية تعرف أعراض نقصها.

العناصر الغذائية وأعراض نقصها

النيتروجين

يعتبر الخيار من أكثر محاصيل الخضر استجابة للتسميد، وخاصة التسميد الآزوتى الذى يُعد أمرًا ضروريًّا لاستمرار النمو الخضرى والإثمار، وذلك لدرجة أن عقد ثمرة واحدة يمكن أن يؤدى إلى وقف النمو الخضرى فى حالة نقص الآزوت، نظرًا لأن البذور تستنفذ كميات كبيرة من هذا العنصر أثناء تكوينها (عن Thompson & Kelly ١٩٥٧). ولذا.. فإنه يوصى دائمًا بتخصيص جزء من السماد الآزوتى ليضاف أثناء نمو النباتات وخلال مرحلة العقد والإثمار. وتحتاج الأصناف الأنثوية إلى كميات أكبر من الآزوت أثناء الإزهار والإثمار.

يؤدى نقص النيتروجين إلى إصفرار النمو الخضرى وضعف النمو، وتخشب السيقان وصلابتها، مع رداءة نوعية الثمار، حيث تكون رفيعة ومستدقة عند الطرف الزهرى، مع شحوب لونها، وقِصَرها.

أما النباتات التى تعانى من زيادة التسميد الآزوتى فإنها تكون خضراء قاتمة اللون، وتميل أنصال الأوراق إلى الالتفاف إلى أسفل مع تدلى أعناقها قليلاً. ويؤدى التسمم من جراء زيادة الآزوت إلى ظهور اصفرار فى حواف الأوراق، يتطور فى الحالات

الشديدة إلى اصفرار فيما بين العرق كذلك، ويكون ذلك مُصاحبًا باحتراق فى الأوراق وضعف فى النمو عندما يصل تركيز النيتروجين فى المياه المغذية إلى نحو ٩٠٠ جزء فى المليون.

وتظهر أعراض التسمم بالأمونيا عندما يكون كل التسميد بمصادر نشادرية، ومن أهم أعراضه المبكرة ظهور بقع صغيرة صفراء على الأوراق، تزداد تدريجيًا فى المساحة إلى أن تتجمع معًا تاركة عروق الورقة فقط خضراء اللون.

أدى الاعتماد على الأمونيوم كمصدر وحيد لتسميد الخيار فى الزراعات اللاأرضية — بتركيز ١٠ مللى مول — إلى تسمم النباتات وتثبيط نموها، واصفرارها وظهور بقع متحللة بأوراقها. وبعد ٢٠ يومًا كانت ٥٠٪ من النباتات قد ماتت. وعندما أضيفت النترات بتركيز منخفض جدًا مع الأمونيوم (١٪ من ١٠ مللى مول نيتروجين كلى) لم تمت أى من البادرات وتحسَّن نموها. وأدى — كذلك — التركيز العالى للبوتاسيوم (٥مللى مول) إلى الحد من سمية الأمونيوم وتحسين النمو بدرجة كبيرة جدًا مقارنة بالوضع فى حالة وجود البوتاسيوم بتركيز ٠,٦ مللى مول (Roosta & Schjoerring ٢٠٠٨).

ونجد فى الخضر التى يستمر حصاد ثمارها لفترة طويلة — مثل الخيار — أن النترات التى تمتصها الجذور تنتقل إلى الثمار الصغيرة، وكذلك الأوراق والسيقان. وما أن يتم تمثيل النيتروجين أو تخزينه فى الأوراق والسيقان والجذور، فإنه يُعاد توزيعه تدريجيًا إلى الثمار لدعم نموها السريع. وللحصول على أعلى محصول من ثمار الخيار يتعين تزويد النباتات بمستويات كافية من النيتروجين بصورة مستمرة بعد القطفة الأولى (Tanemura وآخرون ٢٠٠٨).

وتتباين تقديرات محتوى أوراق الخيار من النيتروجين التى تلزم للنمو الجيد، حيث قدر المحتوى — على أساس الوزن الجاف — بنحو ٦,٧٪ فى أصغر الأوراق، وبنحو ٥,٥٪ – ٦,٠٪ فى أصغر الأوراق المكتملة التكوين. ويوجد شبه اتفاق على أن يكون مقياس

كفاية النبات من النيتروجين هو احتواء الورقة الثالثة الظاهرة من قمة النبات على ٦٪ نيتروجين، إلا أن مستوى النيتروجين يتباين فى الأوراق الصغيرة بين ٥٪، و٧٪، وفى الأوراق المسنة بين ٢,٥٪، و٣,٥٪. وبالمقارنة فإن مستوى النيتروجين فى النباتات التى تعانى من نقص العنصر يكون أقل من ٣٪ فى الأوراق الصغيرة، وأقل من ٢٪ فى الأوراق المسنة، إلا أن هذه التقديرات تتباين بنحو ± ١,٥٪ باختلاف الباحثين.

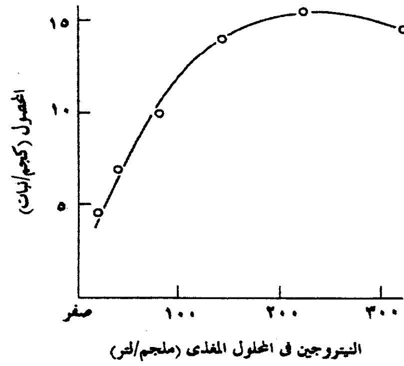
ويلزم للنمو الجيد ألا يقل محتوى الأوراق الصغيرة المكتملة التكوين من النترات عن ٠,٥٪ على أساس الوزن الجاف (عن Winsor & Adams ١٩٨٧).

وترتبط نتائج تقدير النيتروجين والبوتاسيوم فى العصير الخلوى لأعناق الأوراق جوهريًّا مع محتوى الأوراق من هذين العنصرين فى جميع مراحل النمو النباتى (Hochmuth ١٩٩٤)، علمًا بأن عملية تقدير العنصرين فى أعناق الأوراق تجرى فى الحقل ولا تتطلب سوى دقائق معدودات باستعمال عُدّة Kit خاصة. وقد وجد Schacht & Schenk (١٩٩٤) أن تقدير النيتروجين النتراتى فى العصير الخلوى لعنق الورقة الخامسة من قمة النبات كان مناسبًا لمتابعة حالة النيتروجين فى النبات، علمًا بأن تركيز النيتروجين لم يتأثر بوقت أخذ العينة، كما لم يرتبط تركيز الأحماض الأمينية فى العصير الخلوى لعنق الورقة بمستوى التسميد الآزوتى.

وعند الاعتماد على اختبار النترات فى أعناق الأوراق petiole sap test فإن مستوى النترات يجب أن يكون حوالى ٨٠٠ – ١٠٠٠ جزء فى المليون عند بداية الإزهار، و٦٠٠– ٨٠٠ جزء فى المليون فى بداية مرحلة الإثمار، وحوالى ٤٠٠– ٦٠٠ جزء فى المليون عند بداية الحصاد (Hartz & Hochmuth ١٩٩٦).

وقد وجد أن تركيز النيتروجين فى المحاليل المغذية الذى يعطى أعلى محصول من الخيار هو ٢٢٠ جزءًا فى المليون (شكل ٥–١). لذا يتعين المحافظة على هذا التركيز خلال جميع مراحل نمو النبات حتى الانتهاء من حصاد المحصول. وقد ازدادت نسبة الثمار الرديئة التكوين إلى أكثر من ٢٥٪ عندما كان تركيز النيتروجين ١٠٠ جزء فى

المليون، بينما كانت ٤٠٪ من الثمار باهتة اللون عندما وصل تركيز النيتروجين إلى ٢٠- ٤٠ جزءًا فى المليون.



شكل (٥-١): العلاقة بين تركيز النيتروجين فى المحلول المغذى والمحصول فى الخيار.

وعندما زرع الخيار فى محاليل مغذية تباينت فى محتواها من النيتروجين بين ١٠، و٣٢٠ جزءًا فى المليون كان النمو الخضرى - فى بداية الأمر - شاحبًا فى أقل تركيز للنيتروجين، بينما كان اللون أخضر قاتمًا، مع ظهور احتراق فى حواف الأوراق فى أعلى تركيز للنيتروجين، إلا أن هذه الاختلافات اختفت تدريجيًّا مع اطراد النمو. وتوقف امتصاص النباتات للنيتروجين - وكذلك البوتاسيوم - على شدة الإضاءة (جدول ٥-٧)، ودرجة الحرارة، حيث ازدادت معدلات امتصاصها بزيادة مستوى أى من العاملين.

جدول (٥-٧): تأثير شدة الإضاءة على امتصاص نباتات الخيار اليومي من الماء، والنيتروجين، والبوتاسيوم.

شدة الإضاءة (ميجا جول MJ/م٢/يوم)	امتصاص النبات من : الماء (لتر)	النيتروجين (مجم)	البوتاسيوم K (مجم)
٢,٣	٠,٥١	١٥٤	١٣٦
١٥,٥	١,٥٦	٢٥٧	٣٢٥
١٩,٢	٢,١٤	٢٦٠	٣٥٤

هذا.. وكان أفضل تركيز من النيتروجين لنمو بادرات الخيار في المزارع اللاأرضية الهوائية aeroponics هو ٨,٦ مللى مكافئ/ لتر، وكان النمو ضعيفًا عندما كان تركيز النيتروجين ٤,٣ مللى مكافئ/ لتر، أو عندما استعمل النيتروجين في الصورة الأمونيومية (Park & Chiang ١٩٩٧).

وقد وجدت اختلافات بين أصناف الخيار في استجابتها للتسميد النتراتي والأمونيومي، بسبب اختلافها في القدرة على تمثيل النيتروجين في الجذور، وفي الصورة التي ينتقل عليها النيتروجين من الجذور إلى النموات الخضرية (Zornoza وآخرون ١٩٩٦).

وعندما كانت نسبة النيتروجين النتراتي إلى النيتروجين الأمونيومي في المحاليل المغذية للخيار ٤٠ : ٦٠ ظهر نقص معنوي في محتوى النباتات من النيتروجين النتراتي، والفوسفور العضوي، والمنجنيز، وذلك مقارنة باستعمال نسبة صفر: ١٠٠، أو ٨٠: ٢٠، كذلك انخفض قليلاً امتصاص كل من البوتاسيوم والكالسيوم عند استعمال نسبة ٦٠ : ٤٠ (Zornoza & Carpena ١٩٩٢).

وفي دراسة أخرى استعملت فيها محاليل مغذية تحتوى على نسب مختلفة من النيتروجين النتراتي إلى النيتروجين الأمونيومي تراوحت بين ١٠٠٪ نتراتي: صفر٪

أمونيومى، وصفر٪ نتراتى: ١٠٠٪ أمونيومى وجد أن النمو الخضرى للخيار يكون أقوى ما يمكن عند إضافة كل النيتروجين فى الصورة النتراتية، ولكن إضافة ٢٥٪، أو ٥٠٪ من النيتروجين فى صورة أمونيومية أدى إلى زيادة الإثمار، حيث تكونت أول زهرة مؤنثة عند عقدة أقرب إلى قاعدة النبات، وازداد عدد الأزهار المؤنثة المتكونة، وازداد محصول النبات من الثمار جوهريًّا عما لو أضيف كل النيتروجين فى صورة نتراتية فقط أو أمونيومية فقط. كذلك أدت هذه المعاملة إلى زيادة محتوى الأوراق من كل من البوتاسيوم، والحديد، والزنك، مقارنة بمعاملة إضافة النيتروجين فى صورة نتراتية بنسبة ١٠٠٪. وقد كانت النباتات الصغيرة أقل حساسية لاستعمال النيتروجين فى صورة أمونيومية من النباتات الكبيرة (Shou وآخرون ١٩٩٥).

وقد أدى توفر النحاس فى المحاليل المغذية للخيار على صورة كلوريد النحاس بتركيز ١٠٠ ميكرومولار إلى نقص امتصاص النباتات للأمونيوم بنحو ٦٠٪ فى خلال ساعة واحدة من إضافة النحاس، وبنحو ٩٠٪ بعد نحو ساعتين من إضافته، فى الوقت الذى تراكم فيه النحاس فى جذور النباتات التى نمت فى وجود التركيز العالى من كلوريد النحاس بدرجة أكبر عما فى نباتات الكنترول. وبدا أن التأثير السلبى للنحاس على امتصاص وتمثيل الأمونيوم كان مرده إلى إحداث النحاس لتغيرات فى خصائص الأغشية الخلوية فى خلايا الجذر، ولتأثير النحاس المثبط على إنزيمى glutamine synthase، وNADH-glutamine dehydrogenase (Burzynski & Buczek ١٩٩٧).

الفوسفور

عندما لا تحصل نباتات الخيار على كفايتها من الفوسفور فإنها تكون بطيئة النمو، ولكن لا تظهر عليها أية أعراض إلا عندما يقل مستوى الفوسفور كثيرًا فى وسط الزراعة؛ حيث تتقزم النباتات، وتكون الأوراق الحديثة صغيرة، ومتصلبة، وذو لون أخضر رمادى. وتظهر على الأوراق المسنة مساحات كبيرة بنية اللون تغطى كلا من

العروق والمساحات التى بينها ثم تجف الأوراق، بينما تنتشر تلك الأعراض فى الأوراق الأعلى تدريجيًا.

ويرتبط امتصاص الفوسفور إيجابيًا مع درجة حرارة التربة (أو المحلول المغذى فى المزارع المائية)، بينما لا يتأثر تأثرًا مباشرًا واضحًا بأى من شدة الإضاءة أو درجة الحرارة الهواء، بخلاف الحال مع امتصاص النيتروجين والبوتاسيوم. وعلى الرغم من ذلك، فإن معدل امتصاص النبات من الفوسفور يبقى على نسبة ثابتة مع معدل امتصاص النيتروجين طوال موسم النمو؛ الأمر الذى يمكن معه تقدير كمية الفوسفور الممتصة من الكمية المحسوبة للنيتروجين (Schacht & Schenk ١٩٩٥).

وتتباين تقديرات محتوى أوراق الخيار من الفوسفور — على أساس الوزن الجاف — باختلاف الباحثين؛ فقد قدرت فى الأوراق الحديثة والمسنة — على التوالى — بنحو ٠,٧٪ و٠,٣٥٪ فى إحدى الدراسات، و٠,٨٪– ١,٥٪ و ٠,٦٪– ١,٣٪ فى دراسة أخرى، وفى دراسة ثالثة كان محتوى النباتات التى تعانى من نقص العنصر أقل من ٠,٣٪ وأقل من ٠,٢٪ فى الأوراق الحديثة والمسنة، على التوالى.

ويجب أن يتراوح محتوى أصغر الأوراق المكتملة التكوين من الفوسفور بين ٠,٥٪، و١,٠٪ كشرط للنمو الجيد (عن Winsor & Adams ١٩٨٧).

البوتاسيوم

من أهم أعراض نقص البوتاسيوم فى الخيار اصفرار الأوراق، واكتسابها لونًا برونزيًا، واحتراق أطرافها. وينتشر الاصفرار فى الأوراق بين العروق التى تبقى خضراء لبعض الوقت، أما حواف الأوراق فإنها تجف. وعمومًا فإن الأوراق تكون صغيرة، والنمو متقزم. وفى نهاية الأمر تكتسب الأوراق لونًا بنيًا، ولا يتبقى منها بلون أخضر سوى قواعد العروق الرئيسية. كذلك تبدو الثمار التى تنتجها النباتات التى تعانى من نقص البوتاسيوم مشوهة الشكل، حيث تكون متضخمة من طرفها الزهرى، وأقل من سمكها الطبيعى عند طرفها المتصل بالعنق.

ويكون الارتباط بين محتوى البوتاسيوم فى الأوراق والمحصول عاليًا فى بداية الموسم، ثم يقل هذا الارتباط مع تقدم النباتات فى النمو.

ويتناسب امتصاص النباتات للبوتاسيوم طرديًّا مع شدة الإضاءة، ودرجة حرارة الهواء، ويرتبط بشدة مع امتصاص النباتات للماء، وكذلك امتصاصها للنيتروجين، حيث يمكن تقدير الكمية الممتصة من البوتاسيوم من تقديرات الكميات الممتصة من النيتروجين (Schacht & Schenk ١٩٩٥).

ويقل امتصاص النباتات للبوتاسيوم بزيادة التسميد الأمونيومى، حيث تراوح محتوى البوتاسيوم فى الأوراق الصغيرة لنباتات الخيار الصغيرة (بعد ٥ أسابيع من زراعة البذور) بين ٣,٥٪ فى النباتات التى حصلت على كل السماد الآزوتى فى صورة أمونيومية، و٦,٣٪ فى النباتات التى حصلت على كل سمادها الآزوتى فى صورة نتراتية، وذلك بعد أسبوعين فقط من بدء معاملة التسميد الآزوتى.

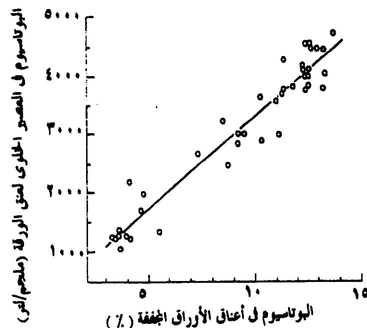
تراوح مستوى البوتاسيوم فى أوراق الخيار- على أساس الوزن الجاف — بين ٢,٥٪ فى الأوراق المسنة، و٣,٦٪ فى الأوراق الحديثة. وفى دراسة أخرى كان المدى فى الأوراق المسنة بين ١,٤٪، و١,٧٪ فى حالات نقص العنصر، وبين ٢,٧٪، و٣,٥٪ فى حالات كفايته، بينما تراوح فى الأوراق الحديثة بين ١,٨٪ و٢,٥٪ فى حالات نقص العنصر، وبين ٣,١٪، و٣,٧٪ فى حالات كفايته. وقد اقترحت نسبة بوتاسيوم تتراوح بين ٣,٥٪ و٤٪ فى الأوراق الحديثة المكتملة النمو كدليل على حصول النبات على كفايته من العنصر.

وتحتوى أعناق أوراق الخيار على بوتاسيوم بنسبة أعلى كثيرًا مما تحتويه أنصال الأوراق، حيث تراوحت النسبة بين ٨,٥٪ فى عنق الورقة الخامسة والعشرين من القمة النامية، و١٤,٨٪ فى عنق الورقة الأولى. كذلك بلغت نسبة البوتاسيوم فى أعناق الأوراق — فى إحدى الدراسات — ١٥,٣ ٪ — ١٦,٦٪ مقارنة بنحو ٤,٥٪- ٤,٨٪ فى أنصال الأوراق ذاتها.

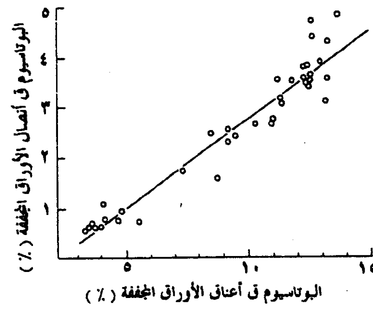
وقد تراوحت نسبة البوتاسيوم فى أنصال الأوراق الحديثة النمو فى النباتات التى ظهرت عليها أعراض نقص العنصر بين ٠,٥٪، و١,٥٪ فى دراسات مختلفة، وعانت

هذه النباتات من نقص فى المحصول نتيجة لنقص العنصر. وبالمقارنة لم تظهر أعراض نقص العنصر على النباتات التى لم تحصل على كفايتها من العنصر، واحتوت أوراقها على ٢,١٪ بوتاسيوم. وقد اقترحت نسبة بوتاسيوم تتراوح بين ٢,١٪، و٢,٣٪ فى أنصال الأوراق كدليل على حاجة النباتات للتسميد بالعنصر. وبالنسبة لأعناق الأوراق فإن النسب المتفق عليها لمحتوى البوتاسيوم هى ٨,٥٪ أو أقل لحالات النقص، و٩٪ للحد الحرج، و١٠٪ - ١٥٪ لمستوى الكفاية.

وقد وجد ارتباط عال بين محتوى البوتاسيوم فى العصير الخلوى المتحصل عليه من أعناق الأوراق وبين محتوى أعناق الأوراق المجففة (r =٠,٩٦)، ومحتوى أنصال الأوراق المجففة (r = ٠,٩٧) من العنصر. ووجد أن العصير الخلوى المستخلص من أعناق أوراق نباتات الخيار المسمدة جيدًا بالبوتاسيوم تراوح بين ٣٥٠٠، و٥٠٠٠ جزءًا فى المليون، وحدث نقص فى المحصول عندما انخفض تركيز العنصر عن ٣٠٠٠ جزء فى المليون. وتتضح العلاقة بين محتوى البوتاسيوم فى أعناق الأوراق المجففة ومحتواه فى العصير الخلوى لأعناق الأوراق، وفى أنصال الأوراق المجففة فى شكلى (٥-٢)، و(٥-٣)، على التوالى (عن Winson & Adams ١٩٨٧).



شكل (٥-٢): العلاقة بين محتوى البوتاسيوم فى كل من أعناق الأوراق المجففة والعصير الخلوى لأعناق الأوراق فى الخيار.



شكل (٥-٣): العلاقة بين محتوى البوتاسيوم فى كل من أعناق الأوراق المجففة وأنصال الأوراق المجففة فى الخيار.

الكالسيوم

تظهر أعراض نقص الكالسيوم على صورة تبرقش أصفر، وبقع بنية اللون فى الأوراق، مع تقزم فى نمو النباتات، وتصلبها، وقصر سلامياتها. وتكون جذور النباتات التى تعانى من نقص العنصر ضعيفة النمو، وسميكة، وقصيرة عما فى النباتات العادية، وتتحول إلى اللون البنى فى مرحلة مبكرة من النمو، وتكون شعيراتها الجذرية أقل مما فى النباتات العادية.

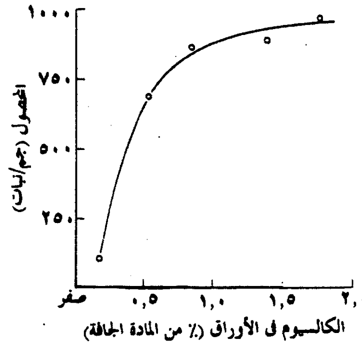
ومع تقدم أعراض نقص العنصر تصبح حواف الأوراق صفراء اللون، وتلتف الأوراق الحديثة إلى أعلى، بينما يكون التفاف حواف الأوراق المسنة إلى أسفل، وتكتسب شكلاً فنجانيًّا. وتصبح المساحات التى بين العروق صفراء اللون، ثم تتحلل، وتكون الأوراق صغيرة، والسيقان رفيعة وقليلة التفرع. أما الأزهار فإنها تكون صغيرة وشاحبة اللون، وتكون الثمار صغيرة وعديمة الطعم، ومشوهة الشكل نظرًا لفشلها فى النمو الطبيعى عند طرفها الزهرى.

وقد تراوح محتوى الأوراق من عنصر الكالسيوم — على أساس الوزن الجاف — بين ١,١٪ فى أنصال الأوراق الحديثة، و١٣,١٪ فى الأوراق المسنة، بينما كان محتوى أعناق الأوراق ذاتها من العنصر ١,١٪، و٦,٥– ٧,٩٪، على التوالى. وارتبطت الأعراض الشديدة لنقص العنصر بانخفاض محتواه فى الأوراق الحديثة إلى ٠,٢٪ أو أقل من ذلك، ولكن أعراض نقص العنصر قد تظهر عند انخفاض مستواه عن ٠,٧٪ فى الأوراق الحديثة، وعن ٢٪ فى الأوراق المسنة.

ويعتقد أن أوراق النباتات التى تحصل على كفايتها من الكالسيوم يجب أن تحتوى على العنصر بنسبة ٢٪ إلى ١٠٪ على أساس الوزن الجاف، بينما يعتقد أن الحد الحرج لمستوى العنصر فى أحدث الأوراق المكتملة التكوين (الورقة الثالثة تحت القمة النامية للنبات) هو ٠,٥٪.

وتتضح العلاقة الطردية بين محصول الثمار ومحتوى الأوراق من الكالسيوم فى شكل (٥–٤).

هذا .. ويقل امتصاص النبات من الكالسيوم بزيادة التسميد الأمونيومى.



شكل (٥–٤): العلاقة بين محصول الثمار ومحتوى الأوراق من الكالسيوم فى الخيار.

ونجد أن نمو الخيار فى الزراعات المحمية يزداد، كما يزداد المحصول، مع زيادة الرطوبة النسبية داخل البيوت، هذا إلا أن الرطوبة العالية جدًّا يمكن أن تتعرض معها النباتات لكل من أضرار الحرارة العالية ونقص امتصاص الكالسيوم، الذى يؤدى — بدوره — إلى نقص المساحة الورقية، ومن ثم إلى نقص المحصول.

ولقد وجد Bakker & Sonneveld (١٩٨٨) أن الأعراض الظاهرة لنقص الكالسيوم، ومحتوى أوراق الخيار من العنصر كانت مرتبطة فى الزراعات المحمية بمتوسط الفرق فى ضغط بخار الماء Vapor Pressure Deficit على مدار الأربع وعشرين ساعة. وأدت زيادة درجة التوصيل الكهربائى (EC) لبيئة الزراعة — أى زيادة تركيز الأملاح فيها — إلى زيادة تأثير الرطوبة العالية فى نقص امتصاص الكالسيوم، إلا أن هذا التأثير للرطوبة الجوية كان ضئيلاً للغاية عندما شكّل الكالسيوم أكثر من ٤٧٪ من الكاتيونات الكلية فى بيئة نمو الجذور. وقد وجد الباحثان أن أعراض نقص الكالسيوم تبدأ فى الظهور تدريجيًّا عندما ينخفض تركيز الكالسيوم فى حواف الأوراق عن ٥٠٠ مللى مول/ كجم من المادة الجافة. وعندما كان الفرق فى ضغط بخار الماء منخفضًا، فإن الحد الأدنى لمستوى الكالسيوم الذى تعين توافره فى بيئة الزراعة كان ٤٠٪ من الكاتيونات الكلية، وأمكن خفض تلك النسبة إلى ٢٥٪ من الكاتيونات الكلية فى المستويات العالية من الفرق فى ضغط بخار الماء، والذى تراوح فى هذه الدراسة بين ٠,٤٤، و٠,٨٨ كيلو باسكال kPa. وقد كان من الضرورى ألا يزيد الـ EC عن ٢,٠ مللى موز/سم لكى لا تظهر أعراض نقص الكالسيوم.

كذلك يتبين من دراسات Adams & Hand (١٩٩٣) أن الرطوبة النسبية العالية أدت إلى زيادة ظهور أعراض نقص الكالسيوم، ونقص الوزن الجاف للأوراق. وكان نقص العنصر تحت ظروف الرطوبة النسبية العالية — ليلاً أو نهارًا — أوضح ظهورًا فى السبعة سنتيمترات القمية من ورقة الخيار عما فى بقية نصل الورقة. وأدت زيادة تركيز الكالسيوم فى المحاليل المغذية من ١٨٠ إلى ٢٧٠ ملليجرامًا/ لتر إلى زيادة محتوى الأوراق من العنصر.

المغنيسيوم

تظهر أعراض نقص المغنيسيوم فى الخيار على صورة اصفرار فى حافة الورقة وتبرقش أصفر وبقع بنية اللون بين العروق. بينما تبقى العروق خضراء اللون. وتكون بداية ظهور الأعراض على الأوراق المسنة، ثم تظهر بعد ذلك تدريجيًا على الأوراق الأحدث تكوينًا. وعادة تبقى عروق الورقة فقط خضراء اللون. هذا بينما يحدث التسمم بالمغنيسيوم عندما يزيد تركيزه فى المحاليل المغذية عن ٩٠٠ جزء فى المليون، ويكون على صورة احتراق فى حواف الأوراق، التى تكون خضراء قاتمة اللون.

ويقل امتصاص النباتات لعنصر المغنيسيوم بزيادة معدلات التسميد الأمونيومى والبوتاسى.

ويتراوح محتوى أنصال أوراق نباتات الخيار التى تعانى من نقص العنصر بين ٠,١٣٪ فى الأوراق المسنة، و٠,٢٢٪ فى الأوراق الحديثة، بينما يزيد المحتوى فى الأوراق المسمدة جيدًا بالعنصر إلى ٠,٧٧٪ فى الأوراق المسنة، و٠,٤٦٪ فى الأوراق الحديثة، وذلك على أساس الوزن الجاف.

ويعتقد أن الحد الحرج لمستوى المغنيسيوم الذى لا يجوز أن يقل عنه فى أنصال الأوراق الحديثة هو ٠,٤٥٪ على أساس الوزن الجاف (Winsor & Adams ١٩٨٧).

الكبريت

نادرًا ما تظهر أعراض نقص الكبريت على نباتات الخيار نظرًا لتوفر العنصر فى عديد من الأسمدة التى تضاف على صورة كبريتات. وتتميز أعراض نقص العنصر — التى يندر مشاهدتها — بشحوب فى لون الأوراق العليا، واصفرار فى حوافها، وتصلبها، وانحناؤها لأسفل، مع تقزم فى النمو النباتى.

ويتراوح محتوى العنصر — على أساس الوزن الجاف — بين ٠,٠٦٪ فى الأوراق التى تعانى من أعراض نقص العنصر، و٠,٦٪ – ٠,٧٪ فى الأوراق العادية السليمة، ولكن يؤخذ ٠,٢٥٪ لمحتوى الكبريت فى الأوراق كحدٍ أدنى للنمو الطبيعى.

وفى المقابل .. فإن زيادة مستوى الكبريت عن اللزوم تؤدى إلى انحناء أطراف الأوراق إلى أسفل، مع ظهور بعض البقع المتحللة، فى الوقت الذى لايزداد فيه محتوى الأوراق من العنصر بزيادة محتواه فى التربة، إلا بدرجة بسيطة.

الحديد

إن أول أعراض نقص الحديد فى الخيار هو اصفرار الأوراق الحديثة مع بقاء العروق خضراء اللون، ومع الاستمرار فى نقص العنصر تكتسب العروق كذلك لونًا أصفرًا، مع اكتساب الورقة كلها لونًا أصفرًا ليمونيًّا، أو أبيضًا مصفرًا. ويلى ذلك تحول حواف الورقة إلى اللون البنى، مع تقزم فى النمو، وشحوب فى لون الثمار.

تظهر أعراض نقص الحديد عندما ينخفض محتواه فى الورقة الرابعة أو الخامسة من قمة النبات عن ١٥٠– ٢٥٠ ميكروجرامًا/ جرام. ويعتقد أن الحد الأدنى لمستوى الحديد فى الأوراق الحديثة المكتملة التكوين يجب أن يتراوح بين ٥٠، و ١٠٠ ميكروجرامًا/ جرام. هذا إلا أن الحديد من العناصر النشطة فسيولوجيًّا فى الأوراق، بحيث لا يمكن الاعتماد على محتوى الأوراق الكلى من العنصر كدليل على الحاجة إلى التسميد.

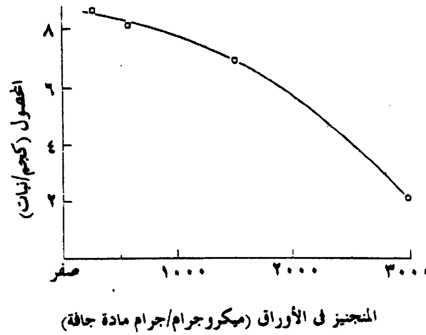
وقد أوضحت دراسات Pinton وآخرون (١٩٩٨) أن نباتات الخيار تستفيد جيدًا من الحديد المتوفر فى الدبُال الناتج عن تحلل المادة العضوية.

المنجنيز

تظهر أعراض نقص المنجنيز فى البداية على صورة اصفرار بين العروق فى الأوراق الصغيرة، بينما تبقى عروق الورقة — حتى الصغيرة جدًّا منها — وأجزاء النصل المجاورة لها — خضراء اللون، مما يكسب الورقة مظهرًا شبكيًّا على شكل عروق خضراء فى خلفية صفراء اللون. ومع تقدم أعراض النقص يكتسب نصل الورقة كله لونًا أصفرًا باستثناء العروق الكبيرة، وتظهر بقع صغيرة غائرة وبيضاء اللون بين العروق. وتكون سيقان النباتات المتأثرة بنقص العنصر وسلامياتها قصيرة ورفيعة، وكثيرًا ما تظهر أعراض نقص المنجنيز فى الأراضى الطميية والطينية عند تعقيمها بالبخار، وخاصة فى الأراضى الحامضية.

وتتباين كثيرًا تقديرات محتوى الأوراق من المنجنيز فى حالتى نقص العنصر وتوفره؛ فمثلاً .. لم ينخفض المحصول عندما تراوح المحتوى — على أساس الوزن الجاف — بين ٦٧، و٢٥١ ميكروجرامًا/ جرام، وكان المحصول جيدًا عندما تراوح المحتوى بين ٤٠، و١٢٠ ميكروجرامًا/جرام، وتراوح محتوى العنصر فى الأوراق السليمة بين ١٠٠، و٣٠٠ ميكروجرامًا/ جرام، وقد اقترح ألا يقل المحتوى عن ٥٠ ميكروجرامًا/جرام. وفى دراسات أخرى ظهرت أعراض النقص عندما انخفض محتوى الورقة من العنصر عن ١٥ ميكروجرامًا/جرام.

وتظهر أعراض التسمم بالمنجنيز على الأوراق المسنة أولاً، ويكون ذلك بظهور مساحات ذات لون أخضر باهت وصفراء بين العروق، تجف تدريجيًّا مع تقدم الحالة، بينما تكتسب العروق لونًا أحمرًا أو بنيًّا، وتظهر بقع عديدة قرمزية اللون على السيقان وأعناق الأوراق، وربما على العروق بالسطح السفلى للأوراق. ويصاحب ظهور تلك الأعراض ارتفاع فى محتوى المنجنيز بالأوراق إلى نحو ٥٠٠ ميكروجرامًا/جرام فى الأوراق الحديثة، و٨٠٠ ميكروجرامًا/جرام فى الأوراق المسنة. وينخفض المحصول كذلك عند زيادة تركيز العنصر عما ينبغى (شكل٥–٥).



شكل (٥–٥): تأثير زيادة محتوى الأوراق من المنجنيز على المحصول فى الخيار.

النحاس

يؤدى نقص النحاس إلى ضعف نمو نباتات الخيار، وقصر السلاميات، وصغر الأوراق، كما تظهر بقع خضراء مصفرة بين العروق فى الأوراق المسنة، تتقدم تدريجيًّا فى الأوراق الأحدث. ومع استمرار نقص العنصر تكتسب الأوراق لونًا أخضرًا شاحبًا أو برونزيًّا، ثم تجف. وفى حالات النقص الشديد لا تتكون براعم أو أزهار فى قمة النبات. ومن مظاهر نقص العنصر كذلك انحناء حواف الأوراق إلى أسفل، وتقزم النمو، ونقص المحصول بنسبة تتراوح بين ٣٢٪، و٩٥٪، وتشوه الثمار المتكونة وصغر حجمها. وتزداد حدة ظهور هذه الأعراض — بصورة خاصة — فى بيئات الزراعة التى يكون قوامها البيت موس.

ويدل احتواء الورقة الخامسة من القمة النامية للنبات على الكبريت بنسبة ٩ ميكروجرامات/جرام من الورقة — على أساس الوزن الجاف — على كفاية العنصر للنبات. ويتراوح المدى الطبيعى لمحتوى العنصر بين ٧، و٢٠ ميكروجرامًا/جرام. ولذا.. فإن ٧ ميكروجرامات/ جرام يعتبر هو المستوى الحرج. ويبلغ محتوى الأوراق الحديثة التى تعانى من نقص النحاس ميكروجرامين من العنصر/جرام، بمدى يتراوح بين ١,٩، و٦,٤ ميكروجرام/جرام.

الزنك

تظهر أعراض نقص الزنك على صورة تبرقش أصفر خفيف يظهر بين العروق فى الأوراق السفلى يتقدم تدريجيًّا إلى الأوراق العليا، مع قصر السلاميات العليا، وصغر مساحة الأوراق، واصفرارها بصورة عامة، فيما عدا العروق التى تبقى خضراء، هى وشريط ضيق حولها.

يتراوح المدى الطبيعى للزنك فى أوراق النباتات المسمدة جيدًا بالعنصر بين ٤٠، و١٠٠ ميكروجرام/جرام. وتظهر أعراض نقص العنصر عندما تحتوى الورقة الخامسة من القمة النامية على حوالى ٩- ٢٥ ميكروجرام/جرام.

وتؤدى زيادة الزنك فى بيئة نمو النبات إلى إحداث أعراض تشبه أعراض نقص الحديد، حيث تصبح أوراق قمة النبات صفراء اللون، مع تقدم هذه الأعراض تدريجيًّا نحو الأوراق السفلى. ويصاحب ظهور أعراض التسمم بالزنك ارتفاع محتوى العنصر فى الأوراق العليا للنبات إلى ما بين ١٥٠، و٩٠٠ ميكروجرام/جرام.

البورون

تبدو أوراق نباتات الخيار التى تعانى من نقص البورون خضراء قاتمة وجلدية الملمس، مع موت القمة النامية للنبات. ومع استمرار نقص العنصر يظهر بالأوراق المسنة تلون بنى مصفر بين العروق، يتبعه جفاف حافة الورقة، بينما تتشوه الأوراق الحديثة غالبًا، وتتصلب، وتأخذ شكلاً فنجانيًّا بالتفافها إلى أعلى. ومع موت القمة النامية تنمو البراعم الإبطية، مما يكسب النبات مظهرًا شجيريًّا. ومن الأعراض الأخرى المميزة لنقص البورون ظهور تجعدات بالسطح السفلى للأوراق، وخشونتها، وسهولة تقصفها، وقصر الثمار المتكونة، وظهور شقوق طولية فلينية بها تشبه تلك التى تتكون فى الحرارة المنخفضة.

لا ينتقل البورون فى النباتات بعد تثبيته فى الأنسجة التى وصل إليها، ويلزم توفير العنصر بصورة دائمة لتجنب أضرار نقصه. يتراوح محتوى أوراق النباتات التى تعانى من نقص العنصر بين ١٩، و٢٥ ميكروجرام/جرام، بينما يتراوح المحتوى الطبيعى بين ٤٠، و ١٤٠ ميكروجرام/جرام.

وتظهر أعراض التسمم بالبورون عند زيادة تركيز العنصر فى بيئة الزراعة، وتكون على صورة اصفرار فى حواف الأوراق التى تلتف لأسفل وتكتسب لونًا بنيًّا، وتحتوى هذه الأوراق على العنصر بتركيز يتراوح بين ٢٤٠، و٥٠٠ ميكروجرام/جرام فى الأوراق الحديثة، بينما قد يصل تركيزه فى الأوراق المسنة إلى ١٠٠٠ ميكروجرام/ جرام.

الموليبدنم

تظهر على النباتات التى تعانى من نقص الموليبدنم مساحات صفراء فى حواف الأوراق المسنة وبين العروق، وتبدو الأوراق محترقة، وتلتف حافتها إلى أعلى، وتموت

فـى نهايـة الأمـر، وتكـون النباتـات ذاتهـا متقزمـة. يبـدأ ظهـور الأعـراض فـى الأوراق السفلى، ثم يتقدم ظهورها — تدريجيًّا — باتجاه الأوراق العليا.

تحتوى الأوراق التى تعانى من نقص الموليبدنم على نحو ٠,٣– ٠,٦ ميكروجرام من العنصر/ جرام مـن الأوراق، مقارنـة بنحـو ٠,٨– ٥,٠ ميكروجرامـات/جـرام فـى الأوراق الطبيعية (Winsor & Adams ١٩٨٧).

السيليكون

لم تـؤثر التغذيـة بالـسيليكون علـى محـصول الثمـار فـى الخيـار، ولكـن إضـافة الـسيليكون بتركيـز ٠,٧٥ مللـى مـولار علـى صـورة ميتـا سـيليكات البوتاسـيوم أدت إلى انخفـاض إصـابة النباتـات بـالفطر *Fulvia fulva* (Tanis ١٩٩١)، كمـا أن إضـافة سيليكات البوتاسيوم إلى المحاليل المغذية بتركيز ١٠٠ جـزء فـى المليـون أدت إلى زيـادة مقاومة الخيار للبياض الدقيقى، ولكنها أدت كذلك إلى اكتساب الثمار لونًـا شـاحبًا غـير مرغوب فيه (Samuels وآخرون ١٩٩٣).

برنامج التسميد

قدرت احتياجات الخيار من العناصر فـى مختلـف أنـواع الأراضـى بـين ٧٥و ١٥٠ كجـم نـيتروجين، و٦٠و ٢٠٠ كجـم فوسـفور (علـى صـورة P_2O_5)، و٥٠ و٢٠٠ كجـم بوتاسيوم (على صورة K_2O) للفدان (Lorenz & Maynaed ١٩٨٠).

أولا: عند اتباع طريقة الرى بالغمر

توصى وزارة الزراعة بتسميد الخيار فى أراضى الـوادى والـدلتا عنـد الـرى بطريقـة الغمر حسب النظام التالى (الإدارة المركزية للبساتين ١٩٩٦):

١–قبل الزراعة وأثناء إعداد الأرض: يضاف ٣٠م٣ من السماد البلدى المتحلـل مـع ٣٠٠ كجم من سماد السوبر فوسفات العادى لكل فدان.

٢–بعد استقرار الشتل أو تمام الإنبات ولمدة الثلاثين يومًا التالية: يضاف نحـو ٥٠ كجم سلفات نشادر، و٢٥ كجم يوريا، و٦٠ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان.

٣- الشهر التالى: يضاف ٥٠ كجم نترات نشادر، و١٠٠ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان.

٤- بعد الشهر الثانى: يضاف ١٠٠ كجم نترات نشادر، و١٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان.

ويتبين مما تقدم أن برنامج التسميد الموصى به تستعمل فيه الأسمدة الكيميائية بمعدل حوالى ٦٠ كجم N، و٤٥ كجم P_2O_5، و١٥٠ كجم K_2O للفدان.

ويمكن — كذلك — استعمال الكميات الموصى بها لأراضى الوادى والدلتا فى الأراضى الرملية التى تروى بطريقة الغمر.

ويفضل أن تكون إضافة الأسمدة التالية للزراعة على دفعات أسبوعية فى الأراضى الرملية، وكل ١٥ يومًا فى الأراضى الصفراء والثقيلة، مع مراعاة إيقاف التسميد قبل نهاية الحصاد بنحو أسبوعين.

ثانيًا: عند اتباع طريقة الرى بالتنقيط فى الأراضى الرملية

فى فلوريدا .. يوصى بتسميد الخيار (المزروع بنظام الرى بالتنقيط مع استعمال الغطاء البلاستيكى للتربة) بمعدل حوالى ٥٥ كجم من كل من النيتروجين وK_2O للفدان (تتضمن التسميد الأساسى قبل الزراعة) وذلك على النحو التالى:

مرحلة النمو	المدة (أسبوع)	معدل التسميد اليومى (كجم/فدان)	
		N	K_2O
١	١	٠,٤٦	٠,٤٦
٢	٢	٠,٧١	٠,٧١
٣	٦	٠,٩٢	٠,٩٢
٤	١	٠,٧١	٠,٧١

وفى حالة زيادة موسم النمو عن عشرة أسابيع فإن الفترة الزائدة يكون التسميد خلالها كما فى مرحلة النمو الثالثة أعلاه.

وفـى مـصر.. فـإن وزارة الزراعـة (الإدارة المركزيـة للبـساتين ١٩٩٦) توصـى — بالإضافة إلى الأسمدة العضوية والكيميائية السابقة للزراعة — تسميد الخيار — بعد الزراعة — فى الأراضى الرملية التى تروى بطريقة التنقيط — ثلاث مرات أسبوعيًا — بالمعدلات التالية:

١- بعد استقرار الشتلة أو تمام الإنبات ولمدة الثلاثين يومًا التالية: ٢كجم سلفات نشادر، و٢كجم يوريا، و٠,٥ كجم حامض فوسفوريك، و٥ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان.

٢- بعد الثلاثين يومًا الأولى: ٦ كجم نترات نشادر، و٠,٥ كجم حامض فوسفوريك، و١٠ كجم سلفات بوتاسيوم.

ويوصى المؤلف بتسميد الخيار قبل الزراعة — فى الأراضى الرملية التى تروى بالتنقيط — بنحو ٣٠م^3 من السماد البلدى، أو ١٥ م^3 سماد بلدى + ١٠م^3 زرق دواجن، يضاف إليها ٢٠ كجم نيتروجين، و٤٥ كجم P_2O_5، و ٢٥كجم K_2O، و١٠ كجم MgO، و ٥٠ كجم كبريت للفدان. أما بعد الزراعة والإنبات، فإن الخيار يسمد بمعدل ٨٠ كجم من النيتروجين، و٣٠ كجم P_2O_5، و ١٠٠- ١٢٥ كجم K_2O للفدان.

يكون التسميد بالفوسفور بمعدلات ثابتة تقريبًا طوال موسم الزراعة حتى قبل انتهاء الحصاد بنحو أسبوعين، بينما يزداد التسميد الآزوتى تدريجيًا بزيادة النمو النباتى. ويزداد معدل التسميد البوتاسى إلى الضعف (٢٠٠٪) مع بداية العقد، ثم إلى أكثر من الضعف (حوالى ٢٥٠٪) مع بداية الحصاد وحتى قرب الإنتهاء منه، وذلك مقارنة بالتسميد البوتاسى فى مرحلة النمو الخضرى.

وتجدر الإشارة إلى أن نظام التسميد وتوقيت إضافة العناصر الكبرى يحتلف فى الخيار عما فى البطيخ والكنتالوب، نظرًا للحاجة إلى استمرار النمو الخضرى فى الخيار، الذى تقطف ثماره بعد عقدها أولاً بأول، بينما يحتاج الأمر إلى الحد من النمو الخضرى بعد العقد فى البطيخ والكنتالوب لكى تكمل الثمار نضجها بصورة جيدة.

الكوسة

تحليل النبات للتعرف على مدى حاجته إلى التسميد

يمكن الاستدلال على مستوى النيتروجين والبوتاسيوم في النباتات ومدى حاجتها إلى التسميد بأى من العنصرين من طرق التحليل السريعة لتركيزهما في العصير الخلوى لأعناق الأوراق، حيث وجد ارتباط قوى بين نتائج تحليل عنق الورقة ومستوى العنصر فى الورقة الكاملة، هذا علمًا بأن تركيز العنصرين فى أوراق النبات ينخفض تدريجيًّا مع تقدم النبات فى العمر (Hochmuth ١٩٩٤).

ويكون مستوى الكفاية من عنصرى النيتروجين والبوتاسيوم، كما يلى: (Hartz & Hochmuth ١٩٩٦).

مرحلة النمو	النيتروجين في عنق الورقة (جزء فى المليون)	تركيز العنصر فى الورقة الكاملة (% من الوزن الجاف) N	K
بداية الإزهار	٩٠٠–١٠٠٠	٣–٥	٣–٥
بداية الحصاد	٨٠٠–٩٠٠	٣–٥	٢–٣

برنامج التسميد

يتوقف نظام تسميد الكوسة على طبيعة التربة ونظام الرى المتبع، كما يلى:

أولا: عند اتباع طريقة الرى بالغمر

يوصى عند اتباع طريقة الرى بالغمر بتسميد الكوسة بنحو ٢٠م^{3} سماد بلدى متحلل للفدان، تضاف أثناء تجهيز الحقل للزراعة، أو فى خنادق بخط الزراعة، مع زراعة البذور أعلى هذه الخنادق بعد تغطية السماد بالتربة. كما يستعمل أيضًا ٣٠٠ كجم سلفات نشادر، و١٥٠ كجم سوبر فوسفات، و١٠٠ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان على ٣ دفعات كما يلى: الدفعة الأولى أثناء الزراعة، ويضاف فيها ثلث كمية الآزوت ونصف الفوسفور، والثانية بعد الخف، ويضاف فيها ثلث كمية الآزوت، ونصف الفوسفور،

ونصف البوتاسيوم، والثالثة عند الإزهار، ويضاف فيها ثلث كمية الآزوت ونصف البوتاسيوم.

ثانيًا: عند اتباع طريقة الرى بالتنقيط فى الأراضى الرملية

يستعمل فى تسميد الكوسة فى الأراضى الرملية التى تروى بالتنقيط البرنامج ذاته الذى أسلفنا بيانه بالنسبة للخيار تحت نفس الظروف.

كذلك أوصى Hartz & Hochmuth (١٩٩٦) بتسميد الكوسة مع مياه الرى بالتنقيط – عند استعمال الأغطية البلاستيكية للتربة – حسب النظام الحالى:

١- يعطى الحقل ١٣٠ كجم من النيتروجين، و١١٠ كجم من البوتاسيوم للهكتار (حوالى ٥٥ كجم نيتروجينًا، و٤٦ كجم بوتاسيوم للفدان).

٢- تتوزع هذه الكميات حسب مرحلة النمو، كما يلى:

مرحلة النمو	عدد الأسابيع	معدل الحقن اليومى (كجم/ فدان)	
		N	K
١	٢	٠,٥٠	٠,٤٠
٢	٢	٠,٧٠	٠,٦٠
٣	٢	٠,٩٠	٠,٨٠
٤	٥	٠,٧٠	٠,٦٠
٥	١	٠,٥٠	٠,٤٠

هذا.. علمًا بأن المسافة بين خطوط الزراعة تكون عادة ١,٥م، وأن الزراعة تتم بالبذرة مباشرة فى تربة رملية. ويتم تحويل كميات البوتاسيوم K إلى أكسيد البوتاسيوم K_2O بالقسمة على ٠,٨٣ ويجب أن يؤخذ فى الاعتبار أن الزراعة بالشتل يترتب عليها إلغاء المرحلة الأولى من النمو، وأن اعتدال الجو يمكن أن يؤدى إلى زيادة فترة النمو النباتى، وتدخل الزيادة فى تلك الحالة ضمن مرحلة النمو الرابعة.

القرع العسلى وقرع الشتاء

وجـد Swiader وآخـرون (١٩٨٨) أن مـستوى النـيتروجين النتراتـي فـي أعنـاق الأوراق المكتملة التكوين حديثًا من القرع العسلى (*C. moschata*) كان دليلاً جيدًا على مستوى النيتروجين بالنبات، وكان أفضل وقت لإجراء التحليل هو فى بداية مرحلة عقد الثمار أو بعد ذلك بقليل. وقد كان المستوى الحـرج الـذى صـاحبه نقـص فـي المحـصول بنسبة ١٠٪ فى الأراضى المروية هو ٤٠٠٠ ميكروجرام/ جـم، بينمـا كـان مـستوى الحـد الأدنى للكفاية (وهو أعلى تركيز قبل حدوث النقص فـي المحـصول مباشـرة) هـو ٦٧٠٠ ميكروجرام/جم. وقد ظهرت أعراض نقص النيتروجين عندما انخفض مستواه عـن ١٥٠٠ ميكروجرام/جم. وقدر الباحثون احتياجـات النبـات مـن الـسماد الآزوتـي فـي الأراضـي المروية بنحو ١٢٥ كجم N للهكتار (٥٢ كجم/ فدان) للحصول على ٩٠٪ مـن المحـصول الممكـن، و٢٢٥ كجـم للـهكتار (٩٥ كجـم N للفـدان) للحـصول علـى ١٠٠٪ مـن ذلـك المحصول. هذا إلاّ أن زيادة معـدلات التـسميد الآزوتـي إلى ٢٠٢ كجـم N للـهكتار (٨٥ كجم/فدان) أو أكثر من ذلك أخرت الحصاد بمقدار ٩ أيام.

وفى حالة التسميد مع ميـاه الـرى بـالرش أوصـى Swiader وآخـرون (١٩٩٤) — لإنتاج أعلى محصول مع عدم التأخير فى نضج الثمار — بالتـسميد قبـل الزراعـة بمعـدل ٢٨ كجـم N، و٥٦ كجـم K للـهكتار (١٢ كجـم N، و ٢٨ كجـم K_2O للفـدان)، ثـم التسميد أثناء نمو النباتات مع مياه الرى بالرش بمعـدل ١١٢ كجـم N، و١١٢ كجـم K للهكتار (٤٧ كجم N، و٥٦ كجم K_2O للفدان) مجزأة على خمس دفعات متساوية.

ويستدل مـن دراسـات Swiader & Al-Redhaiman (١٩٩٨) علـى تـسميد القـرع العسلى مع الرى بالرش أن الـصنف Libby-Select (وهـو ينتمـى للنـوع *C. moschata*) يلزمه من ١١٥– ٢٣٨ كجم N للهكتار (٤٨– ١٠٠ كجم N للفدان) لإنتاج أعلـى محـصول ممكـن مـن الثمـار الـصالحة للتـسويق، كمـا وجـدت علاقـة خطيـة معنويـة بـين محتـوى النيتروجين النتراتي فـي كـل مـن الأوراق المجففـة والعـصير الخلـوى لأعنـاق الأوراق. وقـد حُصِلَ على أعلى محصول من الثمـار عنـدما كـان تركيـز النـيتروجين النتراتـي فـي العـصير

الخلوى لأعناق الأوراق حوالى ٩٠٠- ١٥٠٠ ميكروجرام/مل فى المراحل المبكرة لتكوين الثمار، وحوالى ٥٠٠- ٧٠٠ ميكروجرام/مل خلاله مرحلتى الزيادة فى الحجم والنضج.

هذا .. ويوصى بتسميد القرع العسلى وقرع الشتاء فى الأراضى السوداء — التى تروى بالغمر — بنحو ٢٠م٣ من السماد العضوى المتحلل للفدان، تضاف فى خنادق تحت مستوى ريشة الزراعة، بالإضافة إلى ٦٠ كجم N (١٥٠ كجم سلفات نشادر + ١٠٠ كجم نترات نشادر)، و ٣٠ كجم P_2O_5 (٢٠٠ كجم سوبر فوسفات عادى)، و٦٠ كجم K_2O (١٢٠ كجم سلفات بوتاسيوم)، مع إضافة تلك الأسمدة فى المواعيد التالية:

١- مع السماد العضوى عند إعداد الأرض للزراعة: يضاف ثلث النيتروجين (يستعمل سماد سلفات النشادر فقط فى هذا الموعد)، ونصف الفوسفور.

٢- بعد الخف: يضاف ثلث النيتروجين، ونصف الفوسفور، ونصف البوتاسيوم.

٣- عند بداية العقد: يضاف ثلث النيتروجين، ونصف البوتاسيوم.

أما فى الأراضى الصفراء الخفيفة أو الرملية التى تروى بالتنقيط، فإنه يوصى بزيادة كميات الأسمدة العضوية والكيميائية المضافة بنسبة ٢٥٪، مع إضافتها على النحو التالى:

١- فى باطن الخطوط أثناء إعداد الحقل للزراعة: كل السماد العضوى (٢٥م٣ للفدان)، و١٠ كجم N (٢٠ كجم سلفات نشادر)، و ٣٠ كجم P_2O_5 (٢٠٠ كجم سوبر فوسفات عادى)، و١٠ كجم K_2O (٢٠ كجم سلفات بوتاسيوم للفدان).

٢- من الإنبات إلى الخف: ٢٠ كجم N، و١,٥ كجم P_2O_5 (فى صورة حامض فوسفوريك)، و٥ كجم K_2O .

٣- من الخف إلى بداية العقد: ٣٠ كجم N، و٥ كجم P_2O_5،و ١٥ كجم K_2O .

٤- من بداية العقد حتى ظهور النمو الثمرى بوضوح (حوالى ١٥ يومًا): ١٥ كجم N، و١ كجم P_2O_5 و ٢٥ كجم K_2O .

٥- من نهاية المرحلة السابقة حتى قبل بداية الحصاد بحوالى أسبوع واحد: ٢٠ كجم K_2O .

الفصل السادس

تسميد الخضر الثمرية الأخرى

(الفراولة - البامية)

الفراولة

تسميد المشاتل

تسمد مشاتل الفراولة أثناء نمو النباتات بكل من العناصر الأولية: النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، بالإضافة إلى العناصر الدقيقة.

ويلزم لكل فدان من مشاتل الفراولة المخصصة لإنتاج الشتلات الطازجة- خلال موسم النمو — حوالى ١٠٠ كجم N، و١٠٠ كجم بوتاس (K_2O)، و١٠- ١٥ كجم فقط من الفوسفور (P_2O_5)، وهو العنصر الذى يضاف بغزارة (بواقع ٣٠٠-٦٠٠ كجم سوبر فوسفات عادى، أى نحو ٤٥- ٩٠ كجم P_2O_5 للفدان) قبل الشتل وأثناء تجهيز الحقل للزراعة. وتجدر الإشارة إلى أن أصناف فلوريدا (مثل فستيفال وسويت تشارلى وروزالندا) تزداد احتياجاتها السمادية من عنصر الآزوت بنحو ٢٥٪ عن أصناف كاليفورنيا لكى تنمو بغزارة، ويزداد إنتاجها من المدادات.

يبدأ تسميد المشتل — بعد أسبوع من زراعة الأمهات — باستعمال سماد مركب تحليله ١٩-١٩-١٩ بمعدل كيلوجرام واحد يوميًّا، على أن تزداد الكمية المستعملة منه تدريجيًّا إلى أن تصل إلى حوالى ٣ كجم يوميًّا بعد نحو ٤٥ يومًا من زراعة الأمهات. ويلى ذلك استبدال السماد المركب بأسمدة بسيطة بمعدل: ١,٥- ٢,٥ كجم نترات نشادر + ١,٠- ١,٥ كجم سلفات بوتاسيوم + ١٥٠ مل (سم^3) حامض فوسفوريك تجارى يوميًّا. ويتوقف تسميد مشاتل الفراولة الطازجة فى أواخر شهر أغسطس.

أما باقى العناصر الكبرى (الكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريت) فإن النباتات تحصل على حاجتها منها مما يتوفر فى الأسمدة المختلفة المستعملة قبل الزراعة أو بعدها، وقد يكون من المفيد التسميد بنحو ٢ كجم من كبريتات المغنيسيوم أسبوعيًّا — بداية من الشهر الثالث بعد الزراعة — مع برنامج التسميد بعناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم.

ويبدأ تسميد المشاتل بالعناصر الدقيقة بعد الشتل بنحو أسبوعين، ثم كل ٢–٣ أسابيع بعد ذلك حتى نهاية شهر أغسطس. ويمكن أن يجرى التسميد خلال الـ ٤٥ يومًا الأولى بعد زراعة الأمهات بطريقة الرش، أما بعد ذلك فإن التسميد بالعناصر الدقيقة يكون مع مياه الرى بالرش نظرًا لصعوبة — ثم استحالة — المرور فى المشتل لرش النباتات؛ بسبب انتشار نمو المدادات. وعندما يكون التسميد مع مياه الرى بالرش يتعين استعمال الصور المخلبية للعناصر الدقيقة التى تثبت فى الأراضى القلوية (وهى الحديد، والنحاس، والزنك، والمنجنيز) إذا استعملت فى صورة معدنية، أما عند التسميد بالرش فإنه يمكن استعمال أيًّا من الصورتين المعدنية أو المخلبية للعناصر الدقيقة. هذا وتقل كثيرًا كميات الأسمدة التى تستعمل فى الصورة المخلبية عن تلك التى تستعمل فى الصورة المعدنية.

ويراعى دائمًا أن يتم إطلاق الأسمدة فى شبكة الرى بالرش خلال الثلث الثانى من فترة الرى، لضمان تعمق السماد إلى منطقة نمو الجذور دون أن يتعمق أكثر من ذلك، مع ضمان غسيل شبكة الرى من الأسمدة بعد الانتهاء من إطلاقها مع مياه الرى.

أما مشاتل الفراولة التى تخصص لإنتاج الشتلات الفريجو فإنها تقلّع فى خلال شهرى ديسمبر ويناير؛ مما يعنى استمرار تسميدها حتى نهاية شهر نوفمبر. وتعامل هذه المشاتل كما تعامل المشاتل المخصصة لإنتاج الشتلات الطازجة حتى نهاية شهر أغسطس، ويلى ذلك استمرار برنامج التسميد كاملاً، وبالأسلوب ذاته، خلال الشهور الثلاثة المتبقية، ولكن مع خفض الكميات المستعملة من مختلف الأسمدة بمقدار ٢٥٪ خلال شهر سبتمبر، و٥٠٪ خلال شهر أكتوبر، و٧٥٪ خلال شهر نوفمبر إلى أن يتوقف

التسميد تمامًا خلال النصف الأول من شهر ديسمبر. ويعنى ذلك أن الاحتياجات السمادية للمشاتل المخصصة لإنتاج الشتلات الفريجو تزيد بمقدار حوالى ٣٠٪ عن احتياجات المشاتل المخصصة لإنتاج الشتلات الطازجة.

تسميد حقل الإنتاج

تحتاج حقول الفراولة إلى برنامج مكثف ودقيق للتسميد، لكى تعطى أعلى محصول ممكن دون أن تتجه النباتات نحو النمو الخضرى الغزير. ويتطلب تحديد برنامج التسميد المناسب التعرف أولاً على أعراض نقص مختلف العناصر، والتركيزات المثلى منها فى النبات فى مختلف مراحل نموه،وكذلك محتوى التربة من تلك العناصر، وماذا تعنيه نتائج تحليل التربة بالنسبة لبرنامج التسميد.

أعراض نقص العناصر وأهميتها للنبات

إن من أهم الأعراض التى تظهر على نباتات الفراولة نتيجة لنقص العناصر المغذية، ما يلى:

الأعراض	المسبب
اصفرار عام	نقص النيتروجين- نقص الكبريت — نقص الموليبدنم
تقزم وتلون أخضر قاتم	نقص الفوسفور
احتراق أو انسفاع الأوراق	نقص البوتاسيوم- نقص المغنيسيوم- زيادة الملوحة
أضرار بالقمة النامية (احتراق القمة)	نقص الكالسيوم — نقص البورون
اصفرار نصل الورقة مع بقاء العروق خضراء	نقص الحديد — نقص الزنك — نقص المنجنيز — نقص النحاس
ضعف التلقيح	نقص البورون
صلابة الثمار بصورة غير مرغوب فيها	نقص الكالسيوم
طراوة الثمار، ورداءة طعمها، وتجوفها، وعدم تلونها جيدًا	نقص البوتاسيوم

ونتناول – فيما يلى – وصفًا لأعراض نقص مختلف العناصر المغذية وأهميتها:

النيتروجين

يؤدى نقص النيتروجين إلى صغر حجم الأوراق، وضعف النمو الخضرى واكتسابه لونًا أخضرًا مصفرًا. ومن الأعراض المميزة كذلك اكتساب حواف الوريقات المسنة لونًا أحمر، ثم ينتشر اللون الأحمر تدريجيًا داخل الوريقات إلى أن تصبح الوريقة كلها بلون أحمر لامع أو أحمر ضارب إلى البرتقالى. كما قد يتغير لون حواف الوريقات من الأحمر إلى البنى. ويحدث الأمر ذاته بالنسبة لأعناق الأوراق وأوراق كأس الثمرة التى تكتسب لونًا أحمر.

وتبدو المدادات فى النباتات التى تعانى من نقص النيتروجين سميكة وحمراء اللون، كما يقل كثيرًا عدد المدادات التى يكونها النبات (Ulrich وآخرون ١٩٨٠، وJohanson ١٩٨١).

كذلك يؤدى نقص النيتروجين إلى نقص المحصول، ونقص حجم الثمار، وضعف بريقها.

وقد أدى نقص النيتروجين فى المحاليل المغذية (٠,٠٤ مللى مول نيتروجين مقارنة بتركيز ٠,٤ أو ٤,٠ مللى مول) إلى إحداث نقص معنوى فى الوزن الجاف الكلى للنبات بلغ أكثر من ٦٥٪، وفى معدل النمو النسبى Relative Growth Rate بلغ ٤٠٪، بينما ازدادت كلا من الكفاءة التمثيلية Net Assimilation Rate، ونسبة وزن الجذور Root Weight Ratio. وقد أحدث نقص النيتروجين نقصًا فى المحصول قدر بنحو ٥٠٪، وحدث ذلك من خلال نقص فى نسبة العقد، وعدد الثمار/ نبات، ووزن الثمرة، هذا إلا أن نقص النيتروجين أدى – كذلك – إلى زيادة نصيب الثمار من المادة الجافة الكلية بالنبات (Deng & Woodward ١٩٩٨).

وفي المقابل.. فإن زيادة التسميد الآزوتي عما ينبغي يمكن أن يؤدى إلى شحوب لون الثمار، وعدم تجانس تلوينها، ونقص محتواها من المادة الصلبة الذائبة، وصغر حجمها، وعدم انتظامها في الشكل، وزيادة نسبة الثمار البيضاء اللون، وزيادة الإصابة بالعنكبوت الأحمر، وأمراض النموات الخضرية وأعفان الثمار، ونقص المحصول المبكر والكلي بسبب اتجاه النبات نحو النمو الخضري على حساب النمو الزهري والثمري (Hochmuth ١٩٩٦).

وعلى الرغم مما تقدم بيانه.. فإن نقص النيتروجين بدرجة بسيطة قد يكون أمرًا مرغوبًا فيه لأنه يؤدى إلى تحسين نوعية الثمار وارتفاع سعر بيعها؛ مما يؤدى إلى زيادة العائد على الرغم من حدوث نقص بسيط في المحصول.

ويتراوح محتوى النيتروجين المثالي في الأوراق بين ٢,٧٪، و ٣,٠٪ على أساس الوزن الجاف.

وقد ازداد عدد الثمار التي أنتجتها نباتات الفراولة بزيادة نسبة النيتروجين النتراتي إلى النيتروجين الأمونيومي في المحلول المغذى من ٤ : صفر إلى ٣ : ١، ثم إلى ٢ : ٢، وإلى ١ : ٣، وصفر: ٤، مع بقاء تركيز النيتروجين عند ٤ مول/ م^3 من المحصول المغذى في كل الحالات. ولقد كانت أعلى نسبة C إلى N (C/N ratio) في تيجان نباتات الأمهات عندما كانت النسبة ٣: ١ أو ٢: ٢ في المحلول المغذى (Cárdenas-Navarro وآخرون ٢٠٠٦). ويُستفاد من دراسة أخرى (Tabatabaei وآخرون ٢٠٠٦) أن نسبة ٣: ١ من النترات إلى الأمونيوم في المحلول المغذى هي الأفضل للنمو النباتي، والمحصول، وجودة ثمار الفراولة؛ حيث كانت الزيادة في المحصول ٣٨٪ في الصنف كاماروزا Camarosa، و٨٤٪ في الصنف سلفا Selva، مقارنة بالمحصول في حالة النسب الأعلى من الأمونيوم، وأُرجع ذلك إلى الزياة في حجم الثمار ووزنها الطازج، وإلى زيادة المساحة الورقية ومعدل البناء الضوئي، بينما كان

أقل معدل للبناء الضوئى فى أعلى نسبة استخدمت من الأمونيوم، وهى ١ نترات : ٣ أمونيوم. وقد أدت زيادة نسبة الأمونيوم فى المحلول المغذى من صفر٪ إلى ٧٥٪ إلى إحداث نقص جوهرى فى محتوى الثمار من الكالسيوم وفى قدرتها على التخزين.

كذلك ازداد محصول ثمار الفراولة جوهريًا وكانت الثمار أكبر حجمًا عندما احتوى المحلول المغذى المستخدم فى الإنتاج على نترات وأمونيوم بنسبة ٧٥: ٢٥ أو ٥٠ : ٥٠ (مقارنة بالنسبتين ١٠٠: صفر، وصفر : ١٠٠) إلاّ أن نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية بالثمار ازدادت بزيادة نسبة الأمونيوم فى المحلول المغذى (Tabataei وآخرون ٢٠٠٧).

وقد دُرس تأثير رش الفراولة باثنين وعشرين حمض أمينى يذوب فى الماء بمعدل ٢ مل/ نبات ثلاث مرات أسبوعيًا، مع تعديل تركيز جميع الأحماض الأمينية ليتساوى مع محتوى النيتروجين فى البرولين عند تركيز ٢٠٠ مجم/ لتر.. درس تأثير ذلك على نمو النباتات فى محلول غذائى غير متجدد (وهو الذى أضعف النمو مقارنة بالنمو فى المحلول الغذائى المُتجدد)، ووجد أن النمو تحسّن – مع استعمال محلول غذائى غير متجدد عندما رُشت النباتات بأى من الأحماض الأمينية: Ala أو Cys أو Glu أو Hyp أو Lys أو Thr أو His أو Phe، بينما ازداد محصول الثمار عندما كان الرش بأى من الأحماض الامينية: Ala أو Asn أو Asp أو Cys أو Glu أو Gln أو Hyp أو Lys أو Orn أو Thr أو Trp أو His أو Phe أو Val. وباستمرار الدراسة وجد أن الرش بأى من ال Glu أو الـ Hyp أدى إلى زيادة محصول الثمار بنسبة ٥٠٪ مقارنة بمحصول نباتات الكنترول التى رشت بالماء؛ أى إن النباتات استعادت نموها وتخلصت من حالة التسمم الذاتى التى واكبت نموها فى محلول غذائى مغلق غير متجدد (Mondal وآخرون ٢٠١٣).

الفوسفور

مع بداية نقص الفوسفور تبدو النباتات خضراء قاتمة اللون، والأوراق أصغر قليلاً في الحجم عن الأوراق العادية. ومع ازدياد نقص العنصر يكتسب السطح العلوى للأوراق بريقًا معدنيًا مشوبًا بالاسوداد فى بعض الأصناف، هذا بينما يكتسب السطح السفلى للأوراق لونًا أحمرًا قرمزيًا. ومع تقدم الأوراق فى السن قد يمتد هذا التلون الأحمر إلى السطح العلوى للأوراق كذلك. هذا.. وتكون بداية ظهور التلون الأحمر القرمزى على العروق الصغيرة بالسطح السفلى للأوراق المسنة، ثم ينتشر منها تدريجيًا نحو العروق الرئيسية، ثم إلى باقى نسيج الورقة.

وبصورة عامة.. يكون النمو النباتى متقزمًا، ونمو المدادات ضعيفًا فى النباتات التى تعانى من نقص العنصر.

وتكون أزهار وثمار النباتات التى تعانى من نقص الفوسفور أصغر حجمًا من مثيلاتها الطبيعية، كما تظهر فى بعض الأصناف ثمارًا بيضاء اللون Albino.

ومع استمرار نقص العنصر لفترة طويلة تقل قوة النمو الخضرى، ولكن لا يتأثر النمو الجذرى بالقدر ذاته.

تحتوى أوراق النباتات التى تعانى من نقص الفوسفور على أقل من ٧٠٠ جزء فى المليون من العنصر (acid soluble phosphate P) على أساس الوزن الجاف.

البوتاسيوم

تكون بداية أعراض نقص العنصر على صورة اسمرار أو تلون بنى وجفاف بالسطح العلوى لحواف الأوراق الصغيرة المكتملة التكوين، وتنتشر تلك الأعراض تدريجيًا داخل النصل بين العروق إلى أن تشمل معظم مساحة النصل، ولكن يبقى الجزء القاعدى منها أخضر اللون. ويتزامن ذلك مع اكتساب السطح السفلى للأوراق لونًا أسمرًا ضاربًا إلى

الصفرة يمتد فى كل مساحة الجزء السفلى من النصل بما فى ذلك العرق الوسطى وعنق الورقة. ثم تجف كل تلك الأنسجة. وعلى الرغم من شدة الأعراض التى تظهر على الأوراق المسنة التى تحيط بتاج النبات، أو بكل فرع من التاج، فإن الأوراق الحديثة تبقى خالية من أى عرض. ويبدو أن البوتاسيوم ينتقل من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة بالقدر الذى يكفى للنمو الجيد.

وتزداد شدة هذه الأعراض فى الجو الصحو والشمس الساطعة.

وتتشابه هذه الأعراض – فى بعض جوانبها – مع أعراض نقص المغنيسيوم، ومع أعراض انسفاع الأوراق التى يمكن أن تحدثها الملوحة العالية، أو أشعة الشمس القوية، أو الرياح، أو الجفاف، أو بعض الأمراض والآفات.

وتتكون بأعناق الأوراق التى تظهر أعراض الاحتراق على أنصالها بقع متحللة طويلة ذات لون بنى قاتم، ثم تجف تلك الأعناق وتنهار.

كذلك يؤدى نقص العنصر إلى ضعف إنتاج النبات من المدادات، وتكون المدادات قصيرة ورفيعة، وتظهر على أوراقها الأعراض ذاتها التى تظهر على نباتات الأمهات.

كما تفشل ثمار النباتات التى تعانى من نقص العنصر فى التلوين الطبيعى، وتكون رديئة الطعم والقوام، أى تفتقر إلى الطعم والقوام المميزين لثمار الفراولة.

وعلى الرغم من أن الجذور الليفية للنباتات التى تعانى من نقص البوتاسيوم تكتسب لونًا قاتمًا.. فإنها تستعيد لونها الطبيعى عند توفر العنصر.

هذا .. ويجب أن يتراوح تركيز البوتاسيوم فى الأوراق بين ١,٥٪، و٢,٥٪ على أساس الوزن الجاف، علمًا بأن تركيزًا أقل من ١,٠٪ يمكن أن يترتب عليه نقصًا فى كل من المحصول وجودة الثمار، حيث تنخفض – مع انخفاض نسبة البوتاسيوم فى الأوراق – كلا من نسبة المواد الصلبة الذائبة والحموضة المعايرة فى الثمار.

وفى المقابل.. فإن زيادة البوتاسيوم عما ينبغى قد تؤدى إلى نقص فى صلابة الثمار.

إن المحصول الجيد من الفراولة يمكن أن يُزيل من التربة حوالى ٤٠- ٧٠ كجم K للهكتار (أى حوالى ٢٠-٣٥ كجم K_2O للفدان) فى الثمار وكؤوس الثمار.

وتحتوى أنصال أوراق النباتات التى تعانى من نقص العنصر على أقل من ٠,٥٪ من البوتاسيوم على أساس الوزن الجاف (عن Miner وآخرين ١٩٩٧).

الكالسيوم

من أهم أعراض نقص الكالسيوم احتراق قمة الأوراق tip-burn، وصلابة الثمار بصورة غير طبيعية، وتقزم النمو الجذرى، وموت القمة النامية للنبات.

تظهر أعراض احتراق قمة الأوراق الصغيرة جدًا — وهى مازالت بعد ملتفة — خلال فترات النمو السريع، ويزداد ظهورها فى بعض الأصناف أكثر من غيرها. تكون أنصال أوراق النباتات التى تعانى من نقص العنصر متغضنة، وغير ملساء وتظهر بها تجعدات سطحية، كما تكون حوافها خضراء باهتة أو صفراء فاتحة اللون. ومع استمرار حالة نقص العنصر يستمر ظهور هذه الأعراض فى الأوراق الجديدة، وتفشل قمة الأوراق فى النمو وتصبح سوداء وتحترق، وهى أعراض تتشابه إلى حد ما مع أعراض نقص البورون. وغالبًا ما تموت أعناق تلك الأوراق وعرقها الوسطى بعد أن يخرج منها عصيرًا نباتيًا لزجًا. وقد تظهر أعراض مماثلة لأعراض أعناق الأوراق على أعناق الأزهار.

وقد تظهر أعراض نقص الكالسيوم على الأوراق المكتملة النمو، ويكون ذلك على صورة مناطق خضراء فاتحة اللون تندمج معًا، ثم تصبح جافة. ويُفرَز أثناء ذلك نقط من سائل عصيرى لزج يخرج من العرق الوسطى للأوراق.

أما الثمار التى تعانى من نقص الكالسيوم فإنها تكون مغطاة بأعداد كبيرة من البذور (الثمار الحقيقية)، إما بصورة مبقعة، وإما على كل سطح الثمرة، وتكون تلك الثمار صلبة القوام (غير مستساغة) وحامضية الطعم.

وتكون جذور النباتات التى تعانى من نقص الكالسيوم قصيرة وسميكة وتصبح قاتمة اللون مع تقدمها فى العمر.

وتحتوى أنصال أوراق النباتات التى تعانى من نقص العنصر على أقل من ٠,٢٪ كالسيوم على أساس الوزن الجاف.

ويفيد الرش بالكالسيوم أثناء تكوين الثمار فى إنتاج ثمار أكثر صلابة ولمعانًا.

ويزيد تركيز الكالسيوم فى طرف الثمرة القاعدى (المتصل بالعنق) عما فى طرفها البعيد عن العنق، ويكون أعلى تركيز للكالسيوم فى الثمار الفقيرة (البذور)، وأقل تركيز فى النسيج الداخلى للثمرة اللحمية.

ولم يؤثر التسميد بالكالسيوم – سواء كان ذلك بطريق الرش على النموات الخضرية، أم مع مياه الرى بالتنقيط، أم على صورة جبس أضيف قبل الزراعة – لم يؤثر ذلك على محتوى الأنسجة اللحمية للتخت الزهرى من الكالسيوم (Makus & Morris ١٩٩٨).

وقد أدت معاملة نباتات الفراولة أسبوعيًّا بالكالسيوم المخلبى إلى زيادة صلابة الثمار المنتجة، وزيادة محتواها من الكالسيوم. وأدت المعاملة – كذلك – إلى إحداث خفض جوهرى فى البكتين الذى يذوب فى الماء، وزيادة فى البكتين الذى يذوب فى حامض الأيدروكلوريك. وبعد التخزين على ٢٠ °م لمدة يومين ازداد البكتين الذائب فى الماء، بينما انخفض كثيرًا البكتين الذائب فى حامض الأيدروكلوريك (Naphun وآخرون ١٩٩٧).

وكما دُرس تأثير رش ثمار الفراولة – قبل حصادها – بكلوريد الكالسيوم بتركيز ٢٪ أو ٤٪، ووجد ما يلى:

١–أدت المعاملة بتركيز ٢٪ إلى خفض ذوبان البكتين أثناء النضج.

٢- ازداد نشاط إنزيم الـ pectinestrase عندما كانت معاملة الثمار بتركيز ٢٪ أو ٤٪.

٣- انخفض نشاط إنزيم الـ polygalacturonase فى الثمار عندما كانت معاملتها بتركيز ٤٪ (Camargo وآخرون ٢٠٠٠).

المغنيسيوم

تبدأ أعراض نقص المغنيسيوم على صورة اصفرار أو تلون بالسطح العلوى لحواف الأوراق المسنة، يمتد نحو الداخل تدريجيًّا بين العروق إلى أن تصبح المساحات التى بين العروق ملطخة بمساحات صفراء إلى بنية اللون. ويعقب ذلك احتراق (انسفاع scorching) الأوراق، بينما يبقى الجزء القاعدى من الورقة بلون أخضر فاتح حتى النهاية. تبقى الأوراق الصغيرة والوسطى بالنبات خضراء اللون كما فى حالة نقص البوتاسيوم، بينما تبقى أعناق الأوراق خضراء بعكس الحال فى البوتاسيوم. وفى كلتا الحالتين يزداد الانسفاع بزيادة نقص العنصر ومع تقدم النبات فى العمر. وتجدر الإشارة إلى أن أعراض الاصفرار والتلون البنى بين العروق الذى يحدث عند نقص المغنيسيوم يبدأ من قاعدة التسنين عند حافة الوريقة، وبعد أن يصل إلى العرق الوسطى فإنه يمتد إلى الأجزاء المسننة ذاتها.

تبدو ثمار النباتات التى تعانى من نقص المغنيسيوم عادية، باستثناء أنها قد تكون أبهت لونًا، كما قد تظهر بعض الثمار الألبينو.

ولا يتأثر النمو الجذرى للنباتات التى تعانى من نقص العنصر، ولكنه يكون أقل انتشارًا.

وتحتوى أوراق النباتات التى تعانى من نقص المغنيسيوم على أقل من ٠,١٪ من العنصر على أساس الوزن الجاف.

الكبريت

تكون أوراق النباتات التى تعانى من نقص الكبريت خضراء باهتة إلى صفراء اللون، ويكون هذا التغير اللونى متجانسًا، وتتشابه الأعراض فى ذلك اللون الأصفر المتجانس مع أعراض نقص النيتروجين، ولكن دون أن يظهر احمرار على الأوراق. وتظهر بقع صغيرة ميتة متحللة فى أنصال الأوراق فى المراحل المتقدمة من نقص العنصر.

تبدو حواف الوريقات المسنة فى النباتات التى تعانى من نقص الكبريت وقد تلونت أطراف التسنين فيها بلون أسود بنى، وينتشر هذا التلون تدريجيًا نحو قاعدة الأسنان، ثم ببطء بعد ذلك نحو قواعد الوريقات.

كذلك يقل عدد المدادات التى تنتجها النباتات التى تعانى من نقص الكبريت.

وليس لنقص الكبريت أى تأثير على مظهر الثمار باستثناء أنها تكون أصغر حجمًا.

تحتوى أوراق النباتات التى تتعرض لنقص الكبريت على أقل من ١٠٠ جزء فى المليون من العنصر (Sulfate S) على أساس الوزن الجاف، بينما يزيد التركيز عن ذلك فى أوراق النباتات التى لا تعانى من نقص العنصر.

الحديد

تظهر أعراض نقص الحديد على الأوراق الحديثة فى بداية الأمر، وتتميز بتغير لون المساحات التى توجد بين العروق إلى اللون الأصفر أو الأبيض، بينما تبقى العروق خضراء اللون. ومع استمرار نقص العنصر تنتشر تلك الأعراض فى جميع أوراق النبات فيما عدا أكبرها عمرًا، بينما تصبح الأوراق الجديدة بيضاء تقريبًا، وتظهر مساحات صغيرة بنية اللون على امتداد حافة الأوراق بين العروق.

تحتوى أوراق النباتات التى تعانى من نقص العنصر على الحديد بتركيز يقل عن ٤٠ جزء فى المليون على أساس الوزن الجاف.

الزنك

تتميز أعراض نقص الزنك بتقزم النباتات، وظهور هالة خضراء على امتداد حافة الورقة، بينما يظهر اصفرار بين العروق فى كل مساحة الورقة، كما تظهر تشوهات بالوريقات التى تصبح حافتها متموجة وقاعدتها ضيقة، بينما تبقى العروق خضراء اللون. تبدأ الأعراض بالظهور على الأوراق الحديثة ونباتات المدادات. وكقاعدة عامة.. لا تظهر أى بقع متحللة بالأوراق التى تعانى من نقص الزنك حتى فى حالات النقص الشديدة.

ومن المعروف أن توفر النحاس يثبط امتصاص الزنك، وأن زيادة الفوسفور يثبط انتقال الزنك فى النباتات، كما يحل الكالسيوم محل الزنك على سطح غرويات التربة.

وتحتوى أنصال أوراق النباتات التى تعانى من نقص الزنك على أقل من ١٠ أجزاء فى المليون من العنصر على أساس الوزن الجاف.

المنجنيز

يؤدى نقص المنجنيز إلى تلون المساحات التى بين العروق فى أنصال الوريقات الحديثة باللون الأخضر المصفر الشاحب، ولا يمتد هذا التغير اللونى إلى مواضع التسنين فى حافة الورقة، ولا إلى العروق، ولكن لا يكون اخضرار العروق بالدرجة ذاتها التى تكون عليها عروق الوريقات التى تعانى من نقص الحديد. ومع استمرار نقص العنصر تظهر الأعراض على الأوراق الوسطية للنبات، ثم تظهر نقط صغيرة حمراء فى المساحات الصفراء من الوريقات بالقرب من حافتها الخضراء، ثم تنتشر تلك النقط الحمراء بعد ذلك فى العرق الوسطى، ثم فى الحافة الخضراء الخارجية إلى أن تغطى على لونها، وقد تلتف حافة الورقة لأعلى.

كذلك يؤدى نقص العنصر إلى نقص إنتاج المدادات بنسبة ٥٠٪– ٦٠٪.

ويقل تركيز المنجنيز فى أوراق النباتات التى تعانى من نقص العنصر عن ٢٥ جزء فى المليون على أساس الوزن الجاف.

النحاس

تتشابه أعراض نقص النحاس مع أعراض نقص المنجنيز. تكتسب الأوراق الحديثة لونًا باهتًا، مع زيادة بهتان اللون الأخضر بين العروق، وقد يصبح السطح العلوى للوريقات أبيض اللون فيما عدا عند الحافة التى تبقى خضراء.

ويكون محتوى أنصال الأوراق التى تعانى من نقص العنصر أقل من ٣ أجزاء فى المليون على أساس الوزن الجاف.

ويبقى أكثر من ٦٥٪ من النحاس الممتص فى الجذور، وتحصل التيجان على نسبة ١٠٪، وأعناق الأوراق على ١٠٪، بينما لا تصل إلى الأزهار إلاّ ٠,٥٪ من العنصر الممتص.

ويكفى تركيز قدره ٠,٥ ميكرومول من النحاس / لتر – فى المحاليل المغذية – للحصول على نمو ومحصول جيدين من الفراولة (Lieten ١٩٩٧).

البورون

يبدأ ظهور أعراض نقص البورون فى القمم النامية للنبات، وفى جميع أجزاء النبات التى تكون نشطة فى الانقسام الخلوى، فتتوقف استطالة الجذور، وتزداد سمكًا وتفرعًا، ويظهر احتراق بقمم الوريقات التى تبرز من تيجان النباتات، وتبدو حوافها صفراء اللون، وتكون تلك الأوراق ملتوية ومتغضنة وصغيرة نسبيًا، كما تكون المدادات قصيرة ونباتاتها صغيرة وأوراقها مشوهة. ويؤدى استمرار نقص العنصر إلى تقزم النباتات بشدة، وحدوث زيادة واضحة فى إنتاج التيجان الفرعية، وزيادة فى حدة الأعراض فلا يزيد طول الأوراق عن ٢,٥ سم وطول المدادات عن ٥ سم. كما تكون الأزهار أصغر حجمًا، ويقل إنتاج حبوب اللقاح.

وتتشابه أعراض نقص البورون مع أعراض نقص الكالسيوم في المراحل الأولى لكليهما، فكلاهما يؤثر على الأوراق الصغيرة ويحدثان بها تغضنًا وتجعدًا واحتراقًا بالقمة، كذلك يتقزم النمو الجذرى فى كلتا الحالتين. هذا .. إلا أنه فى حالات النقص البسيطة للبورون تتلون المساحات بين العروق فى الأوراق باللون الأصفر، بينما تبقى تلك المساحات خضراء اللون عند نقص الكالسيوم.

ويعد البورون ضروريًّا لحيوية حبوب اللقاح وإنباتها، وتكوين البذور، وبذا.. فإن نقص العنصر يؤثر سلبيًّا على عقد الثمار، ويؤدى إلى تكوين ثمار صغيرة ومشوهة وغير مستوية السطح bumpy، لأن عقد البذور لا يكون كاملاً. كذلك تلاحظ ظاهرة الثمار البيضاء (الألبينو) فى النباتات التى تعانى من نقص البورون.

تحتوى أنصال أوراق النباتات التى تعانى من نقص البورون على أقل من ٢٥ جزءًا فى المليون من العنصر على أساس الوزن الجاف. وفى بعض الدراسات كان المستوى الحرج لنقص البورون هو ١٨ جزءًا فى المليون بالنسبة لغالبية الأصناف، و ٢-٥ أجزاء فى المليون بالنسبة لبعضها.

ويعد البورون قليل الحركة فى نبات الفراولة. ويتحرك العنصر بطريقة سلبية مع الماء الذى تمتصه الجذور ولا يُعاد توزيع العنصر الذى يصل إلى الأوراق إلى أجزاء النبات الأخرى، لأنه لا ينتقل فى اللحاء. ولذا .. تعد الأوراق هى أكثر الأعضاء النباتية تعرضًا لتجمع البورون بهاء، مما يسبب احتراقًا بحوافها واصفرارًا بين العروق فى أنصالها.

تؤدى الظروف التى تساعد على زيادة معدل النتح — مثل الجو الحار الجاف — إلى تراكم البورون فى الأوراق، وخاصة فى حوافها، وقد يزداد تركيزه فيها إلى ٢٠٠ جزء فى المليون، مما يؤدى إلى موتها. ويحدث التسمم من البورون عند زيادة تركيزه فى الأوراق —

على أساس الوزن الجاف — عن ١٢٠ جزءًا في المليون. وفي الظروف التي يزداد فيها الضغط الجذرى — عند توفر الرطوبة الأرضية مع ارتفاع الرطوبة النسبية ليلاً — قد يفرز البورون مع ماء الإدماع guttation الذى يبرز من الثغور المائية hydathodes في نهايات العروق بالأوراق.

ووجد Lieten (١٩٩٥) أن التركيز المناسب للبورون في المحلول المغذى لنباتات الفراولة من صنف إلسانتا Elsanta النامية في أكياس البيت موس تراوح بين ٥، و ١٥ ميكرومول/ لتر.

وقد أدى رش نباتات الفراولة بحامض البوريك بتركيز ٠,٣٪ قبل الإزهار بنحو ١٠ أيام مع الرش بنفثالين حامض الخليك NAA بتركيز ١٠٠ × ١٠^-٦ مولار خلال مرحلة الإزهار وعقد الثمار إلى نقص نسبة الثمار المشوهة، وزيادة المحصول بنسبة ٢٧,٥٪، وزيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية في الثمار بمقدار ١,٥ (Xiao وآخرون ١٩٩٨).

الموليبدنم

يظهر نقص الموليبدنم على صورة اصفرار متجانس بالأوراق الحديثة وتحلل بالأوراق المسنة، كما تلتف حواف الوريقات إلى أعلى.

وليس للنقص البسيط في الموليبدنم أى تأثير على حجم الثمار أو جودتها.

وتحتوى أوراق النباتات التي تعاني من نقص الموليبدنم على أقل من ٠,٤ جزء في المليون من العنصر.

ويعالج نقص الموليبدنم برش النموات الخضرية بأى من ملحى موليبدات الصوديوم أو الأمونيوم بتركيز ١,٥ جم/لتر من الماء + ١٪ مادة ناشرة (Ulrich وآخرون ١٩٨٠، وJohanson ١٩٨١، وMass ١٩٩٨).

السيليكون

أدت زيادة تركيز السيليكون فى المحاليل المغذية من ٤,٢٥ إلى ١٧,٠ مللى مول على صورة سيليكات البوتاسيوم K_2SiO_3 إلى زيادة محتوى الأوراق من الكلوروفيل والنمو النباتى، كما أدت إضافة السيليكون إلى زيادة محتوى الثمار من حامض الستريك والماليك، ونقص محتوى الجلوكوز والفراكتوز والميوإينوسيتول myo-inositol (Wang & Galletta ١٩٩٨).

تحليل النبات

يجرى تحليل الأوراق لتعرف محتواها من مختلف العناصر الغذائية الضرورية للنبات، ويلزم لذلك جمع عينات الأوراق التى تلزم للتحليل وتداولها بطريقة سليمة، ثم إجراء التحليل إما على أنصال الأوراق أو أعناقها المجففة بالطرق المعملية، وإما بالطرق السريعة على العصير الخلوى لأعناق الأوراق فى حالتى النيتروجين النتراتى والبوتاسيوم. ويلزم فى جميع الحالات تعرف مستويات النقص، والكفاية، والزيادة من كل عنصر.

التحليل المعملى

تؤخذ أعناق الأوراق التى أكملت نموها حديثًا لتحليل النترات، والكلوريد، ولتحليل الفوسفور الذائب فى ٢٪ حامض الخليك، بينما تؤخذ أنصال تلك الأوراق لتحليل البوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والحديد، والمنجنيز، والزنك، والنحاس، والموليبدنم، والبورون، والنيتروجين الكلى، والفوسفور الكلى، والصوديوم.

تتكون عينة الأوراق التى تجمع للتحليل — عادة — من ٣٠–٤٠ ورقة، تؤخذ كل منها من على مسافات منتظمة بامتداد أحد خطوط الزراعة بمنتصف الحقل المعنى، مع تقسيم الحقل إلى عدة أجزاء متساوية لهذا الغرض.

تجزأ الأوراق – أثناء تجميعها – إلى أعناق وأنصال، وتوضع في أكياس ورقية، وتبقى مبردة إلى حين وضعها في فرن مهوى على حرارة ٧٠°م لمدة ٢٤ ساعة. وعند الرغبة في تحليل الحديد، أو الزنك، أو النحاس، أو الموليبدنم، فإنه يتعين غسيل الأتربة من على الأوراق باستعمال محلول حامض ضعيف يحتوى على منظف صناعي، ثم شطفها بالماء المقطر قبل تجفيفها. وبعد تجفيف العينات فإنها تطحن إلى أن تصبح دقيقة، بحيث يمكنها النفاذ من منخل mesh screen مقاس ٢٠–٤٠، ثم تنقل إلى وعاء بلاستيكي يحكم إغلاقه لحين إجراء التحاليل الكيميائية عليها.

ويحلل النيتروجين النتراتي في أعناق الأوراق باستعمال حامض الفينول داى سلفونك phenoldisulfonic acid أو بأى طريقة أخرى.

ويمكن استعمال عينات لأنصال الأوراق تزن العينة منها ١٢٥– ٢٥٠ مجم لتقدير كل من الصوديوم والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمنجنيز، والحديد، والزنك، والنحاس بطريقة القياس اللونية colorimetry. كما يقدر بها الفوسفور الكلى بعد معاملة العينة بحامض النيتريك المركز في أنبوبة هضم، ثم بالهضم باستعمال حامض نتريك بركلوريك nitric-perchloric acid. أما الكبريتات فإنها تقدر في عينة الأنصال بطريقة أزرق الميثلين methylene blue (Ulrich وآخرون ١٩٨٠).

ويبين جدول (٦–١) المستوى الحرج، والمستوى الذى تظهر معه أعراض نقص العنصر، ومستوى الكفاية لمختلف العناصر الضرورية في أنصال أوراق الفراولة وأعناقها على أساس الوزن الجاف (عن Ulrich وآخرين ١٩٨٠).

جدول (٦–١): المستوى الحرج، والمستوى الذى تظهر معه أعراض نقص العنصر، ومستوى الكفاية لمختلف العناصر الضرورية فى الفراولة على أساس الوزن الجاف.

العنصر	الصورة المقدرة للعنصر	الجزء النباتى	التركيز الحرج	المدى الذى تظهر معه أعراض نقص العنصر	المدى الذى لا تظهر معه أعراض نقص العنصر
			(٪)	(٪)	(٪)
النيتروجين	N الكلى	النصل	٢,٨	٢,٠–٢,٨	٣,٠ فأكثر
البوتاسيوم	K	النصل	١,٠	٠,١–٠,٥	١,٠–٦,٠
		العنق	١,٠	٠,١–٠,٤	١,٠–٦,٠
الكالسيوم	Ca	النصل	٠,٣	٠,٠٨–٠,٢٠	٠,٤–٢,٧
المغنيسيوم	Mg	النصل	٠,٢	٠,٠٣–١,٠	٠,٣–٠,٧
الكلورين	CI	العنق	–	< ٠,٠٧	٠,٠٧–٠,٤ فأكثر
الصوديوم (عنصر غير ضرورى)	Na	النصل	–	< ٠,٠١	٠,٠١–٠,٤ فأكثر
			(جزء فى المليون)	(جزء فى المليون)	(جزء فى المليون)
النيتروجين	NO_3-N	العنق	٥٠٠	صفر–٥٠٠	٧٠٠–٢٠٠٠٠
الفوسفور	H_2PO_4-P	العنق	٧٠٠	١٥٠–٧٠٠	١٠٠–٥٠٠٠
	P الكلى	النصل	١٠٠٠	٣٠٠–١١٠٠	١٥٠٠–١٣٠٠٠
الكبريت	SO_4-S	النصل	١٠٠	٢٥–٨٠	١٠٠–٥٠٠ فأكثر
	S الكلى	النصل	١٠٠٠	٣٠٠–٩٠٠	١٠٠٠ فأكثر
الحديد	Fe	النصل	٥٠	٥–٤٠	٥٠–٣٠٠
المنجنيز	Mn	النصل	٣٠	٤–٢٥	٣٠–٧٠٠
الزنك	Zn	النصل	٢٠	٦–١٠	٢٠–٥٠ فأكثر
النحاس	Cu	النصل	٣,٠	< ٣,٠	٣–٣٠
البورون	B	النصل	٢٥	١٨–٢٢	٣٥–٢٠٠
الموليبدنم	Mo	النصل	٠,٥	٠,١٢–٠,٤٠	٠,٥ فأكثر

كما يبين جدول (٦-٢) المدى المناسب لمختلف العناصر الغذائية الضرورية فى أحدث أوراق الفراولة التى أكملت تكوينها (أنصال + أعناق) – على أساس الوزن الجاف – فى بداية موسم الحصاد وفى منتصفه، علمًا بأن نقص مستوى العنصر عن الحد الأدنى لذلك المدى يعنى نقص العنصر عما ينبغى، وأن زيادته تعنى زيادته عما ينبغى (Hochmuth & Albregts ١٩٩٥).

جدول (٦-٢): المستوى المناسب لمختلف العناصر الغذائية فى أوراق (أنصال + أعناق) الفراولة التى أكملت نموها حديثًا على أساس الوزن الجاف.

العنصر	وقت التحليل	
	عند بداية موسم الحصاد	فى منتصف موسم الحصاد
	(٪)	(٪)
النيتروجين	٣,٠-٣,٥	٢,٨-٣,٠
الفوسفور	٠,٢-٠,٤	٠,٢-٤,٠
البوتاسيوم	١,٥-٢,٥	١,١-٢,٥
الكالسيوم	٠,٤-١,٥	٠,٤-١,٥
المغنيسيوم	٠,٢٥-٠,٥٠	٠,٢-٠,٤
الكبريت	٠,٢٥-٠,٨٠	٠,٢٥-٠,٨٠
	(جزء فى المليون)	(جزء فى المليون)
الحديد	٥٠-١٠٠	٥٠-١٠٠
المنجنيز	٣٠-١٠٠	٢٥-١٠٠
الزنك	٢٠-٤٠	٢٠-٤٠
البورون	٢٠-٤٠	٢٠-٤٠
النحاس	٥-١٠	٥-١٠
الموليبدنم	–	٠,٥-٠,٨

اختبار الداى فينيل أمين للنترات

يُعد اختبار الداى فينيل أمين diphenylamine أسرع اختبار لتقدير النيتروجين النتراتى فى الفراولة، وفيه توضع نقطة من كاشف الداى فينيل أمين على قطع مائل يتم عمله فى عنق الورقة، فإذا ما ظهر لون أزرق واضح فى الحال، فإن ذلك يعنى أن محتوى النيتروجين النتراتى فى عنق الورق يزيد عن ٥٠٠ جزء فى المليون وأن النبات لا يعانى من أى نقص فى النيتروجين وقت إجراء الاختبار. أما إذا بقى الكاشف عديم اللون، أو تحول إلى اللون الأزرق ببطء شديد، فإن ذلك يعنى أن محتوى النيتروجين النتراتى فى عنق الورقة يقل عن ٥٠٠ جزء فى المليون، وأن النبات يعانى من نقص فى إمدادات النيتروجين وقت إجراء الاختبار.

يحضر كاشف الداى فينيل أمين بإضافة ٠,٢ جم من المركب إلى ١٠٠ مل من حامض الكبريتيك المركز الخالى من النترات. يخزن الكاشف فى قنينة زجاجية من البيركس ذات غطاء زجاجى كذلك، ويؤخذ منها ما يلزم للاختبارات الحقلية فى قنينة بقطارة ذات غطاء زجاجى. ويتعين الحرص الشديد عند تداول الحامض المركز لأنه كاو شديد، ويتم التخلص من الكميات الزائدة منه بتفريغها فى الماء وليس العكس.

إن الحد الأدنى الذى أسلفنا بيانه للنيتروجين النتراتى — وهو ٥٠٠ جزء فى المليون على أساس الوزن الجاف — يجب ألا يكون هو الهدف الذى نسعى إلى الوصول إليه، فالنيتروجين النتراتى يجب أن يكون دائمًا فى حدود ٢٠٠٠ جزء فى المليون أو أعلى من ذلك. وينظر إلى تركيز ٣٠٠٠– ١٠٠٠٠ جزء فى المليون على أنه يمثل احتياطى نيتروجين للنبات. أما إذا كان النيتروجين النتراتى يزيد عن ١٠٠٠٠ جزء فى المليون فإن النمو الورقى يزداد بشدة ويكون ذلك على حساب المحصول. وعندما يكون التحليل قريبًا من المستوى الحرج — وهو ٥٠٠ جزء فى المليون — فإنه يتعين تصحيح الوضع فى الحال، ليس بالتسميد الآزوتى الأرضى فقط، ولكن بالتسميد الورقى كذلك.

وغنى عن البيان أنه كلما طالت الفترة التى يبقى فيها مستوى النيتروجين فى النبات أقل مما ينبغى أو أعلى عما ينبغى كلما ازداد النقص المتوقع فى المحصول. وبالمقارنة .. كلما ازدادت الفترة التى يبقى فيها النيتروجين فى المستوى المناسب (٥٠٠٠– ١٠٠٠٠ جزء فى المليون خلال مراحل النمو النشط) كلما استمر التوازن بين النمو الخضرى والثمرى وكلما ازداد المحصول المتوقع (Ulrich وآخرون ١٩٨٠).

تقدير النيتروجين النتراتى والبوتاسيوم فى العصير الخلوى لأعناق الأوراق

يجرى تحليل العصير الخلوى لأعناق الأوراق على عينة من أعناق أحدث الأوراق التى أكملت نموها، علمًا بأنه يكفى عينة من حوالى ٢٠ عنق ورقة من كل فدان). تقطع أعناق الأوراق إلى أجزاء صغيرة، ثم يستخلص منها العصير باستعمال عصارة ثوم. ويتم تحليل النيتروجين النتراتى والبوتاسيوم فى عصير أعناق الأوراق مباشرة — ودونما تخفيف أو ترشيح — باستعمال جهاز صغير يعمل بالبطارية.

تُصنَّع هذه الأجهزة بواسطة شركتى Horida اليابانية، و Spectrum Technologies الأمريكية. ويمكن أن تستعمل أقطاب النترات والبوتاسيوم لتلك الأجهزة فى عملية القياس لمئات العينات قبل تغييرها، ولكن تلزم معايرة الأجهزة مرتين — على الأقل — يوميًا باستعمال محلول قياسى من نترات البوتاسيوم.

ويمكن تخزين أعناق الأوراق على درجة الصفر إلى ٤°م لمدة ٦ ساعات دون توقع أى تغير معنوى فى محتواها من النترات، ولكن تقدير النترات فى العصير يجب أن يجرى فى خلال دقيقتين — كحد أقصى — من استخلاصه من الأعناق، وإلاّ تغيرت القراءة المتوقعة بفعل تعرض العصير للهواء. كما أن الشد الرطوبى يمكن أن يؤثر على قراءة الجهاز؛ ولذا.. يفضل أخذ القراءات فى الصباح. هذا وتنخفض قراءة الجهاز للنترات بمقدار ٢٠٪ بين الساعة السابعة صباحًا والثانية بعد الظهر. ويفضل أخذ قراءة النترات فى مكان مظلل لأن قطب النترات حساس للتقلبات الحرارية التى يمكن أن يُحدثها التعرض لضوء الشمس المباشر.

يجب أن تكون قراءة العينات — دائمًا — فى حدود أقصى مدى لتدريج الجهاز؛ فإذا ما زادت قراءة العينة عنه وجب تخفيضها إلى أن تصبح قراءتها فى المدى المناسب. ثم يحسب التركيز الحقيقى بناء على درجة التخفيف.

تقرأ هذه الأجهزة البوتاسيوم مباشرة كجزء فى المليون من أيون البوتاسيوم K^+، أما النيتروجين فإن بعض الأجهزة تقرأه فى صورة نترات، بينما تقرأه أجهزة أخرى فى صورة نيتروجين نتراتى، فإذا ما كانت القراءة فى صورة نترات وجبت قسمتها على ٤,٤٣ للحصول على تركيز النيتروجين النتراتى.

ويرتبط تركيز النترات المقدر بهذا الجهاز — بدرجة عالية — مع تركيز النترات المقدر فى أعناق الأوراق بالطرق المعملية التقليدية، والعلاقة بينهما خطية على امتداد مدى واسعًا من تركيز النترات.

يعتبر اختبار تقدير النترات فى أعناق الأوراق أكثر حساسية وأسرع من اختبار تقدير النيتروجين العادى فى أنصال الأوراق.

ويبين جدول (٦-٣) المدى المناسب لكل من النيتروجين النتراتى والبوتاسيوم فى عصير أعناق الأوراق بالنسبة لغالبية الأصناف القصيرة النهار، ولكن هذه الأرقام ترتفع إلى الضعف بالنسبة للصنف كابارلا، وإلى حوالى ٢,٥ ضعف فى الصنف سلفا.

جدول (٦-٣): المستوى المناسب لكل من النيتروجين النتراتى، والبوتاسيوم (بالجزء فى المليون) فى عصير أعناق أوراق الفراولة على امتداد موسم النمو فى فلوريدا (عن Hochmuth & Albregts ١٩٩٥).

الشهر	النيتروجين النتراتى	البوتاسيوم
نوفمبر	٨٠٠- ٩٠٠	٣٠٠٠- ٣٥٠٠
ديسمبر	٦٠٠- ٨٠٠	٣٠٠٠- ٣٥٠٠
يناير	٦٠٠- ٨٠٠	٢٥٠٠- ٣٠٠٠
فبراير	٣٠٠- ٥٠٠	٢٠٠٠- ٢٥٠٠
مارس	٢٠٠- ٥٠٠	١٨٠٠- ٢٥٠٠
أبريل	٢٠٠- ٥٠٠	١٥٠٠- ٢٠٠٠

تختلف أصناف الفراولة فى مدى التركيز المناسب للنترات فى أعناق الأوراق، ويتراوح المدى الموصى به بين ١٠٠، و١٥٠٠ جزء فى المليون للصنفين المحايدين للفترة الضوئية: سيلفا، وسى سكيب. هذا بينما يكون تركيز النترات فى أعناق الأوراق عند نقص العنصر أقل من ٧٠٠ جزء فى المليون.

ويتراوح التركيز المناسب للبوتاسيوم فى أعناق الأوراق بين ٢٥٠٠، و٣٠٠٠ جزء فى المليون فى نوفمبر وديسمبر، ينخفض إلى ٢٠٠٠ جزء فى المليون فى مارس، و١٥٠٠ جزء فى المليون فى منتصف أبريل.

وتتراوح الاختلافات بين النباتات فى تركيز النترات فى أعناق الأوراق بين ١٠٪، و٣٠٪، بينما تتراوح تلك الاختلافات بالنسبة للبوتاسيوم بين ٥٪، و ١٥٪ فقط.

ويوصى Lopez Nunez وآخرون (١٩٩٩) بأن يتراوح تركيز النيتروجين النتراتى فى أعناق أوراق صنف الفراولة كماروزا بين ٣٥٠، و٥٥٠ جزءًا فى المليون على أساس الوزن الطازج فى خلال الفترة من يناير إلى مارس فى إسبانيا.

تحليل التربة

يُظهر تحليل التربة مدى فقرها أو غناها فى مختلف العناصر الضرورية للنبات، ومدى الحاجة للتسميد، وخاصة بعنصرى الفوسفور والبوتاسيوم (جدول ٦-٤).

برامج التسميد

تختلف برامج التسميد الموصى بها للفراولة باختلاف مكان الإنتاج، وطريقة الإنتاج، والصنف المستعمل، ونظام الرى، وقوام التربة ومدى خصوبتها. ونستعرض فى هذا المقام نتائج الدراسات التى أجريت على التسميد بالنيتروجين والبوتاسيوم فى عدد من أهم مناطق إنتاج الفراولة فى العالم، ثم نعرج إلى بيان لبعض برامج التسميد المقترحة من قبل جهات مختلفة لطرق الإنتاج المختلفة.

جدول (٦-٤): تفسير نتائج تحليل التربة (Mehlic-1 soil test)، ومدى حاجة الفراولة للتسميد بعنصرى الفوسفور والبوتاسيوم بناء على نتيجة التحليل (عن Hochmuth & Albregts ١٩٩٥).

العنصر	نتيجة التحليل (جزء في المليون)	توصيف التربة بالنسبة لمحتواها من العنصر	الحاجة إلى التسميد (كيلوجرام/ فدان)
الفوسفور			(P_2O_5)
	١٠ >	فقيرة جدًا	٧٠
	١٠- ١٥	فقيرة	٥٥
	١٦- ٣٠	متوسطة	٤٥
	٣١- ٦٠	غنية	صفر
	٦٠ <	غنية جدًا	صفر
البوتاسيوم			(K_2O)
	٢٠ >	فقيرة جدًا	٧٠
	٢٠- ٣٥	فقيرة	٥٥
	٣٦- ٦٠	متوسطة	٤٥
	٦١- ١٢٥	غنية	صفر
	١٢٥ <	غنية جدًا	صفر

هذا.. وقد كانت استجابة الفراولة لزيادة معدلات التسميد بجميع العناصر الكبرى بمقدار الثلث أو الثلثين عالية وتراوحت بين ٤٥٪، و١٢٠٪ زيادة في المحصول في بداية فترة الحصاد، ثم انخفضت الزيادة في المحصول إلى ١٠٪ إلى ٢٨٪ في منتصف ونهاية فترة الحصاد. وكان الارتباط عاليًا بين المساحة الورقية والمحصول الكلى (r : ٠,٧٣) في بداية فترة الحصاد (Agüero& Kirschbaum ٢٠١٥).

دراسات التسميد بالنيتروجين والبوتاسيوم

١- النيتروجين:

تسمد حقول الفراولة في كاليفورنيا بالنيتروجين في حدود ١١٢- ١٧٠ كجم للهكتار (حوالى ٤٧- ٧١ كجم للفدان). كما توصى دراسات تسميد الفراولة في فلوريدا بالتسميد الآزوتي بمعدلات مماثلة لمعدلات كاليفورنيا أو أقل قليلاً منها.

ويذكر Hochmuth وآخرون (١٩٩٦) أن تسميد الفراولة — التي تروى بالرش — في فلوريدا بمعدل ١١٢– ٢٢٤ كجم من النيتروجين للهكتار (حوالى ٤٧– ٩٤ كجم للفدان) أدى إلى تدهور جودة الثمار. وعند الرى بالتنقيط، يوصى فى فلوريدا بأن يكون معدل التسميد الآزوتى اليومى كيلوجرام واحد للهكتار (٠,٤٢ كجم للفدان)، إلاّ أن معدل التسميد اليومى الفعلى الذى يطبق من قبل منتجى الفراولة يتراوح بين ١,٥، و٢,٠ كجم N للهكتار (حوالى ٠,٦٣ — ٠,٨٤ كجم N / فدان). هذا .. ولم يجد الباحثون تأثيرًا معنويًا لزيادة معدل التسميد اليومى بالنيتروجين — مع ماء الرى بالتنقيط — من ٠,٢٨ إلى ١,٤٠ كجم للهكتار (٠,١٢ إلى ٠,٥٩ كجم / فدان) — على المحصول المبكر (محصول الفترة من نوفمبر إلى يناير)، بينما ازداد محصول شهر مارس بزيادة معدل التسميد الآزوتى اليومى إلى ٠,٧٦ كجم للهكتار (٠,٣٢ كجم للفدان)، والمحصول خلال الموسم كله بزيادة معدل التسميد الآزوتى اليومى إلى ٠,٥٤ كجم للهكتار (٠,٢٣ كجم للفدان).

وفى ولاية نورث كارولينا استجابت الفراولة للتسميد الآزوتى حتى ١٢٠ كجم N للهكتار (حوالى ٥٠ كجم N للفدان) علمًا بأن نصف هذه الكمية أضيفت قبل الزراعة، بينما أضيف النصف الآخر مع مياه الرى بالتنقيط خلال موسم النمو (Miner وآخرون ١٩٩٧).

وعلى الرغم من أن زيادة معدلات التسميد الآزوتى فى أرض رملية فقيرة أدت إلى زيادة محصول الفراولة، إلا أن ذلك كان مصاحبًا بزيادة فى أعفان الثمار، هذا.. بينما لم يؤثر التسميد الآزوتى على نسبة محصول الثمار العالية الجودة التى يزيد قطرها عن ٢٢ ملليمترًا (Nestby ١٩٩٨).

وفى إسبانيا أنتجت نباتات الصنف كماروزا التى أعطيت معدلات يومية منخفضة من النيتروجين (حوالى ٠,١٠ إلى ٠,١٧ كجم N/ فدان) أعلى محصول مبكر وكلى (Lopez Nunez وآخرون ١٩٩٩).

٢- البوتاسيوم:

أوضحت معظم الدراسات التى أجريت على التسميد البوتاسى للفراولة التى تروى بطريقة الرش أن أقصى استجابة للفراولة كانت عند التسميد بمعدل ١٦٠ كجم K للهكتار (أو نحو ٨١ كجم K_2O للفدان)، ويأخذ ذلك المعدل المرتفع فى الاعتبار أن نسبة لا يستهان بها من السماد البوتاسى المضاف لا تستفيد منها النباتات بسبب غسيلها مع مياه الرى التى ترشح إلى باطن التربة (عن Albregts وآخرين ١٩٩٦).

وعندما كان رى الفراولة بطريقة التنقيط (فى فلوريدا)، وجد Albregts وآخرون (١٩٩٦) ان زيادة معدل التسميد البوتاسى اليومى من ٠,٢٨ إلى ١,٤٠ كجم K للهكتار (من ٠,١٤ إلى ٠,٧٠ كجم K_2O للفدان) أدت إلى زيادة تركيز البوتاسيوم فى أعناق الأوراق وأنصالها إلا أنها لم تؤثر على المحصول، ولم تؤثر بانتظام على متوسط وزن الثمرة. كذلك حصل Miner وآخرون (١٩٩٧) على نتائج مماثلة للتسميد البوتاسى فى ولاية نورث كارولينا الأمريكية، حيث لم تؤثر زيادة معدل التسميد البوتاسى اليومى مع مياه الرى بالتنقيط من ٠,٤٦ إلى ٢,٣٢ كجم K للهكتار (٠,٢٣ إلى ١,١٧ كجم K_2O للفدان) على محصول الفراولة، أو على أى من الصفات الأخرى التى تم قياسها.

دراسات التسميد بالكمبوست

أدى استخدام مستخلص الكمبوست غير المهوى فى تسميد الفراولة إلى توفير كميات من معظم العناصر الكبرى والصغرى مماثلة لتلك التى وفرها استخدام كمبوست قمامة المدن، وكمبوست مخلفات المجترات، والأسمدة الكيميائية. هذا .. إلا أن كمبوست قمامة المدن أضاف كميات أكبر جوهريًا من كل من الكالسيوم والصوديوم والكبريت، بينما أضاف كمبوست مخلفات المجترات كميات أكبر جوهريًا من الفوسفور

الميسر، كما أضاف نوعًا الكمبوست والأسمدة الكيميائية كميات أكبر من البوتاسيوم للتربة، مقارنة بمستخلص الكمبوست (Hargreaves وآخرون ٢٠٠٩).

تسميد زراعات الفراولة الفريجو

إن زراعات الفراولة الفريجو تسمد قبل الزراعة – وأثناء إعداد الحقل للزراعة – بنحو ٣٠م³ من السماد البلدى القديم المتحلل، وحوالى ٢٠٠ كجم من السوبر فوسفات العادى (أى حوالى ٣٠ وحدة فوسفور P_2O_5) للفدان.

أما بعد الزراعة .. فإن برنامج التسميد بالعناصر الأولية (النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم) يكون على النحو التالى:

١– النيتروجين:

تسمد حقول الفراولة الفريجو بمعدل حوالى ٢٠٠ كجم نيتروجين للفدان، باستعمال حوالى طن من سماد سلفات النشادر، ولكن يفضل تجزئ كمية النيتروجين اللازمة بين سمادى سلفات النشادر (٥٠٠ كجم للفدان) ونترات النشادر (٣٠٠ كجم للفدان)، تضاف على دفعات تتكون كل منها من ٥٠ كجم سلفات نشادر أو ٣٠ كجم نترات نشادر بالتبادل بداية من بعد الزراعة بحوالى ٣ أسابيع، ثم كل ١٠– ١٢ يومًا بعد ذلك حتى بداية العقد؛ وبعد ذلك يكون التسميد بمعدل ٢٥ كجم سلفات نشادر أو ١٥ كجم نترات نشادر بالتبادل قبل كل رية.

ويلاحظ أن كميات النيتروجين المسمد بها تزداد قبل عقد الثمار بهدف تشجيع النمو الخضرى. ويفضل فى تلك الفترة التركيز على استعمال سماد نترات النشادر.

٢– الفوسفور:

بالإضافة إلى التسميد الفوسفاتى السابق للزراعة (٢٠٠ كجم سوبر فوسفات أو حوالى ٣٠

كجم P_2O_5 للفدان)، فإن حقول الفراولة الفريجو تسمد بعد الزراعة بنحو ١٥ وحدة فوسفور P_2O_5 أخرى، باستعمال ١٠٠ كجم مكن سماد السوبر فوسفات، تضاف على ٣ دفعات، بمعدل ٥٠ كجم من السماد بعد ٣ أسابيع من الزراعة مع الدفعة الأولى من السماد الآزوتي، ثم ٢٥ كجم عند بداية الإزهار، ثم ٢٥ كجم أخرى بعد حوالى شهر من الدفعة الثانية.

٣- البوتاسيوم:

تسمد حقول الفراولة الفريجو بمعدل حوالى ٢٥٠ كجم P_2O للفدان، باستعمال حوالى ٥٠٠ كجم من سماد سلفات البوتاسيوم، تضاف على ١٠ دفعات بكل منها ٥٠ كجم من السماد. تضاف الدفعة الأولى قبل الإزهار بحوالى ٤ أسابيع (ويعرف ذلك الموعد بظهور البراعم الزهرية فى آباط الأوراق)، والدفعة الثانية عند بداية الإزهار، ثم كل ١٠ أيام بعد ذلك حتى قرب نهاية الحصاد.

وإلى جانب التسميد بالعناصر الأولية فإن حقول الفراولة تسمد بالعناصر الصغرى عن طريق رش الأوراق بالصورة المخلبية لتلك العناصر بعد شهر من الزراعة ثم شهريًا بعد ذلك. وفى حالة ظهور أعراض نقص أحد تلك العناصر فإنه يرش به منفردًا (وزارة الزراعة واستصلاح الأراضى ١٩٩٨ بتصرف).

تسميد زراعات الفراولة الفرش

نقدم — فيما يلى — أربعة برامج مختلفة لتسميد زراعات الفراولة الفرش التى تروى بالتنقيط — والتى يمكن اتباع أى منها — بالإضافة إلى التسميد السابق للزراعة، والذى يتضمن ٢٠م^3 سماد بلدى قديم متحلل + ١٠م^3 زرق دواجن (سماد كتكوت) + ١٥٠ كجم سلفات نشادر + ١٥٠ كجم سوبر فوسفات عادى + ١٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم + ٥٠ كجم سلفات مغنيسيوم + ٣٠٠ كجم كبريت زراعى.

برنامج مقترح رقم ١:

اقترحت هذا البرنامج إحدى شركات إنتاج الأسمدة الأجنبية، وفيه يكون التسميد بالعناصر الكبرى (على اعتبار أن المحصول المتوقع هو ٤٥ طنًّا للهكتار، أو نحو ٢٠ طنًّا للفدان) على النحو التالى:

مرحلة النمو النباتى	عدد الأيام المتوقعة	النيتروجين	الفوسفور (P_2O_5)	البوتاسيوم K_2O	النسبة السمادية
		(كجم/ فدان/يوم)	(كجم/فدان/يوم)	(كجم/فدان/يوم)	
الزراعة إلى بداية العقد	٢٥	٠,٣– ٠,٤	٠,١٥– ٠,٢٠	٠,٣– ٠,٤	٢: ١: ٢
الإثمار المبكر	٢٠	٠,٥– ٠,٦	٠,٢٥– ٠,٣٠	٠,٧٥– ٠,٩٠	٢: ١: ٣
المحصول الشتوى الرئيسى	٥٠	٠,٦– ٠,٨	٠,٣٠– ٠,٤٠	٠,٩٠– ١,٢	٢: ١: ٣
المحصول الربيعى	٧٥– ٩٠	٠,٦– ٠,٥	٠,٣٠– ٠,٢٥	١,٢– ١,٠	٢: ١: ٤

وبذا .. يكون إجمالى التسميد خلال الموسم (١٧٠– ١٨٥ يومًا) حوالى ١٠٠ كجم N، و٥٠ كجم P_2O_5، و ١٦٠ كجم K_2O للفدان. ويراعى زيادة أو انقاص حوالى ٠,٢ كجم N يوميًّا من البرنامج المقترح (+ كميات موازية من كل من الـ P_2O_5 والـ K_2O حسب النسبة السمادية المقترحة فى كل مرحلة من مراحل النمو) مع كل انحراف قدره ١٠ طن من الثمار عن المحصول المتوقع للهكتار بالزيادة أو بالنقصان، على التوالى.

هذا .. ويمكن استعمال أى سماد قابل للذوبان كمصدر للعناصر الثلاثة، ولكن يفضل استعمال نترات النشادر كمصدر للنيتروجين، وحامض الفوسفوريك كمصدر للفوسفور نظرًا لأنهما أقل تكلفة عن الأسمدة المركبة، علمًا بأن حامض الفوسفوريك التجارى الذى تبلغ درجة نقاوته ٧٥٪ يحتوى على ٥٤,٣٪ P_2O_5.

ويقترح مشروع النظم الزراعية بالإسماعيلية (عرفة وآخرون ٢٠٠١) أن يتم التسميد بالمعاملات الموضحة فى البرنامج المقترح رقم ١ خمس مرات فقط أسبوعيًّا، مع تخصيص

يوم واحد أسبوعيًا للتسميد بمجموعة أخرى من الأسمدة، وتخصيص اليوم السابع أسبوعيًا للغسيل (رى بدون تسميد). ويكون التسميد الإضافى الأسبوعى بكل من نترات الكالسيوم (٣ كجم أسبوعيًا فى مرحلتى النمو الأولى والثانية، و٤ كجم أسبوعيًا فى المرحلة الثالثة، و٦ كجم أسبوعيًا بعد ذلك)، وسلفات المغنيسيوم (٢ كجم أسبوعيًا فى مرحلة النمو الأولى، تزداد إلى ٣ كجم أسبوعيًا بعد ذلك)، وعناصر صغرى (١٠٠ جم حديد مخلبى + ٥٠ جم زنك مخلبى + ٥٠ جم منجنيز مخلبى للفدان أسبوعيًا).

برنامج مقترح رقم ٢:

يعتمد هذا البرنامج — الذى يُعمل به فى بعض المزارع فى مصر والخارج — على نترات النشادر كمصدر للنيتروجين، وحامض الفوسفوريك كمصدر للفوسفور، وكلوريد البوتاسيوم (الذى يحتوى على ٦٠٪– ٦٢٪ K_2O) كمصدر للبوتاسيوم، مع إضافة حامض الكبريتيك التجارى بغرض خفض الـ pH. ويمكن استبدال كلوريد البوتاسيوم بأى سماد بوتاسى آخر شريطة إضافة الكمية المحددة من K_2O. وفى هذا البرنامج.. يكون الرى دائمًا بمحلول سمادى مخفف تتوفر فيه كميات الأسمدة المبينة فى جدول (٦–٥) فى كل متر مكعب من مياه الرى.

يلاحظ فى البرنامج أن الكميات المقترحة من حامض الفوسفوريك بالسنتيمتر المكعب (الملليلتر) تعادل الكمية المطلوبة من P_2O_5 بالجرام، ويرجع ذلك إلى زيادة كثافة حامض الفوسفوريك عن الواحد الصحيح، مع افتراض استعمال درجة عالية النقاوة من الحامض فى التسميد.

ومن الضرورى تسميد النباتات بالعناصر الصغرى كما سبق بيانه تحت البرنامج رقم ١.

جدول (٦-٥): برنامج لتسميد زراعات الفراولة الفرش بعد الزراعة.

الشهر	مرحلة النمو	الكمية بكل متر مكعب من مياه الرى						
		النيتروجين		الفوسفور		البوتاسيوم		
		N (جم)	نترات النشادر (جم)	P_2O_5 (جم)	حامض الفوسفوريك (سم٣)	K_2O (جم)	كلوريد البوتاسيوم (جم)	حامض كبريتيك (سم٣)
		خلال فترة الرى بالرش (١٥ يومًا)						
سبتمبر	٥ أيام بعد الشتل	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر
سبتمبر	١٠ أيام إضافية	٢٠	٦٠	١٠	١٠	٤٠	٦٥	٢٠
		خلال فترة الرى بالتنقيط (٨ شهور)						
أكتوبر	نمو خضرى	٤٠	١٢٠	٢٠	٢٠	٨٠	١٣٠	١٤
نوفمبر	الإزهار وبداية الحصاد	٦٠	١٨٠	٣٠	٣٠	٩٠	١٥٠	٩
ديسمبر	دورة الحصاد الأولى	١٢٠	٣٦٠	٣٠	٣٠	١٠٠	١٦٥	٩
يناير	دورة الإزهار الثانية	١٠٠	٣٠٠	٣٠	٣٠	١٠٠	١٦٥	٩
فبراير	دورة الحصاد الثانية	١٠٠	٣٠٠	٣٠	٣٠	١٠٠	١٦٥	٩
مارس	بداية دورة الحصاد الثالثة	٨٠	٢٤٠	٣٠	٣٠	١٠٠	١٦٥	٩
أبريل	بقية دورة الحصاد الثالثة	٥٠	١٥٠	٣٠	٣٠	٨٠	١٣٠	٩
مايو	دورة الحصاد الرابعة	٣٠	٩٠	٣٠	٣٠	٥٠	٨٠	٩

برنامج مقترح رقم ٣:

تبعًا لهـذا البرنـامج الـذى اقترحتـه جامعـة فلوريـدا للتـسميد الآزوتـى والبوتاسـى (Hochmuth & Albregts ١٩٩٥).. فإن الفراولة تسمد بالمعدلات التالية للفدان.

الفترة	N (كجم/ فدان)	K_2O (كجم/ فدان)
الـ ١٥ يوم الأولى بعد الشتل (سبتمبر)	٠,١٤	٠١٤
أكتوبر — نوفمبر — ديسمبر— يناير	٠,٢٧	٠,٢٧
فبراير — مارس	٠,٣٤	٠,٣٤
أبريل — مايو	٠,٢٧	٠,٢٧

وبذا.. تكون إجمالى الكمية المستعملة حوالى ٧٠ كجم للفدان من كل من النيتروجين N والبوتاس K_2O.

ومن الضرورى تسميد النباتات بالعناصر الصغرى كما سبق بيانه تحت البرنامج المقترح رقم ١.

برنامج مقترح رقم ٤:

اقترح هذا البرنامج مركز تنمية الفراولة والمحاصيل غير التقليدية بجامعة عين شمس (وزارة الزراعة والثروة الحيوانية والسمكية واستصلاح الأراضى ١٩٩٤)، ومن بعده مشروع استخدام ونقل التكنولوجيا الزراعية (وزارة الزراعة واستصلاح الأراضى ١٩٩٨). وتبعًا لهذا البرنامج فإن حقول الفراولة فى الزراعات الفرش تسمد مع مياه الرى بالتنقيط بمعدل ٥٠ مل (سم٣) من سماد مركب سائل لكل متر مكعب من مياه الرى. يكون تحليل السماد المركب ١٠-٢-٦ + عناصر صغرى خلال مرحلة النمو الخضرى، و١٠-٤-٨ + عناصر صغرى خلال مرحلة الإزهار، و٨-٢-١٠ + عناصر صغرى خلال مرحلة الإثمار. هذا علمًا بأن كمية مياه الرى التى تعطاها حقول الفراولة تختلف باختلاف درجة الحرارة، وقوام التربة، ومرحلة النمو النباتى، وتتراوح بين ٥، و١٥م^3 يوميًا للفدان. ويتعين حقن كل السماد المخصص لكل رية خلال الثُلث الثانى من فترة الرى أيًا كانت كمية مياه الرى المقررة ومدتها.

ويتطلب إنتاج ١٠٠ لتر من كل من المحاليل السمادية المركبة المقترحة كميات الماء

والأسمدة والأحماض المبينة قرين كل سماد فى جدول (٦–٦).

جدول (٦–٦): كميات الماء، والأسمدة، والأحماض التى تلزم لتحضير ١٠٠ لتر من أسمدة مركبة تختلف فى تحليلها.

تحليل السماد	مـاء (لتر)	كربونات بوتاسيوم (كجم)	حامض نيتريك (لتر)	نترات نشادر (كجم)	حامض فوسفوريك (لتر)	الحجم النهائى بإضافة الماء
١٠–٢–٦	٥٠	٩,٤	١٤,٧	٢٠,٧	٢,٩	١٠٠
١٠–٤–٨	٥٠	١٢,٥	١٩,٦	١٧,٦	٥,٨	١٠٠
٨–٢–١٠	٥٠	١٥,٦	٢٤,٥	٨,٤	٢,٩	١٠٠

ويتم تحضير تلك الأسمدة باتباع الخطوات التالية:

١–يضاف ٥٠ لتر من الماء إلى إناء نظيف يتسع لأكثر قليلاً من ١٠٠ لتر.

٢–يضاف إلى الماء الكمية المحددة من كربونات البوتاسيوم (٦٥٪ K_2O) – حسب تحليل السماد – وذلك بصورة تدريجية، مع التقليب جيدًا بساق خشبية إلى حين تمام الذوبان.

٣–تضاف إلى محلول كربونات البوتاسيوم الكمية المحددة من حامض النيتريك المركز (٦٠٪) – حسب تحليل السماد – وذلك بصورة تدريجية، مع الاحتياط من ارتفاع درجة الحرارة والفوران الناشئ عن تصاعد غاز ثانى أكسيد الكربون نتيجة لتحول كربونات البوتاسيوم إلى نترات بوتاسيوم، وثانى أكسيد كربون وماء.

٤–تضاف إلى المحلول السابق الكمية المحددة من نترات النشادر – حسب تحليل السماد – وذلك بصورة تدريجية، مع التقليب الجيد حتى تمام الذوبان.

٥– تضاف إلى المحلول السابق الكمية المحددة من حامض الفوسفوريك التجارى (٨٠٪) – حسب تحليل السماد – وذلك بصورة تدريجية، مع التقليب الجيد.

٦-يكمل الإناء بعد ذلك بالماء حتى علامة ١٠٠ لتر (بعد إضافة الكميات المحددة الذائبة من أسمدة العناصر الدقيقة)، وبذا.. يكون قد تم تحضير ١٠٠ لتر من السماد المركب ذات التحليل المطلوب.

ويتعين الحذر التام عند تداول الأحماض المركزة المستخدمة في تحضير تلك المحاليل.

أما محلول العناصر الصغرى فإنه يحضر بإذابة كميات محددة من أسمدة تلك العناصر جيدًا في الماء، قبل إضافتها إلى السماد المركب السائل، علمًا بأن الكميات التي تلزم من تلك الأسمدة لكل ١٠٠ لتر من السماد المركب، هي كما يلي: ٢٥٠ جم حديد مخلبي Fe-EDDHA ٦٪، و٨٠ جم زنك مخلبي Zn-EDTA ١٣,٥٪، و٩٠ جم منجنيز مخلبي Mn-EDTA ١٢٪، و١٠ جم بوراكس $NaBO_3$ ١٠,٦٪. وتكون نسب العناصر الدقيقة في هذا المخلوط هي: ٢ حديد: ١ زنك : ١ منجنيز : ٠,١ بورون.

وأيًّا كان برنامج التسميد المتبع .. فإنه قد يكون من المفيد رش النباتات بأحد الأسمدة الورقية المناسبة، مثل سماد إسبشيال، مرة كل ١٠ أيام، وذلك بتركيز جرام واحد في كل لتر ماء. يحتوي سماد اسبشيال على ٩٪ N، و١٢٪ P_2O_5، و٣٦٪ K_2O، و١٪ MgO بالإضافة إلى الحديد إدتا (بتركيز ٠,٥٪، أي ٥٠٠٠ جزء في المليون)، والزنك إدتا (بتركيز ٠,١٥٪، أي ١٥٠٠ جزء في المليون)، والمنجنيز إدتا (بتركيز ٠,٢٥٪، أي ٢٥٠٠ جزء في المليون)، والبورون (بتركيز ٠,١٪، أي ١٠٠٠ جزء في المليون)، والنحاس (بتركيز ٠,٠٥٪، أي ٥٠٠ جزء في المليون)، والموليبدنم (بتركيز ٠,٠٢٥٪، أي ٢٥٠ جزء في المليون).

كذلك قد يكون من المفيد رش النباتات بأحد منشطات النمو الحيوية، مثل كروب ماكس Cropmax. يجرى الرش غالبًا بدءًا من بعد الشتل بأسبوعين، ثم كل أسبوعين بعد ذلك حتى منتصف موسم الحصاد، وذلك بمعدل ٥٠ مل (سم^3) من التحضير التجاري لكل ١٠٠ لتر ماء.

البامية

يوصى بتسميد البامية فى الأراضى السوداء بنحو ١٠– ٢٠م^{3} من السماد البلدى – تضاف أثناء إعداد الأرض للزراعة، ويضاف معها ١٠٠ كجم سلفات نشادر (حوالى ٢٠ كجم N)، و٢٠٠ كجم سوبر فوسفات أحادى (حوالى ٣٠ كجم P_2O_5)، و٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم (حوالى ٢٥ كجم K_2O) للفدان. وتوالى النباتات أثناء نموها بثلاث دفعات متساوية من الأسمدة، تضاف الأولى منها بعد الخف، والثانية بعد ذلك شهرين عند بداية عقد الثمار، والثالثة بعد الثانية بشهر آخر، ويستعمل فى كل منها ٥٠ كجم من نترات النشادر (حوالى ١٥ كجم N)، و٣٠ كجم من سلفات البوتاسيوم (١٥ كجم K_2O) للفدان.

أما فى الأراضى الرملية التى تروى بالتنقيط فإن كميات الأسمدة الموصى بها قبل الزراعة، هى: ٢٠م^{3} سماد عضوى، و١٠٠ كجم سلفات نشادر، و٢٠٠ كجم سوبر فوسفات أحادى، و٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم، و٥٠ كجم سلفات مغنيسيوم، و٥٠ كجم كبريت زراعى للفدان. أما أثناء النمو النباتى فإن النباتات تسمد بنحو ٦٠ كجم N، و١٥ كجم P_2O_5، و٦٠ كجم K_2O للفدان تجزأ إلى كميات متساوية تضاف مع مياه الرى بالتنقيط بمعدل ٣–٤ مرات أسبوعيًا، مع خفض الكميات المضافة خلال الأسابيع الثلاثة الأولى بعد الإنبات – قليلاً – عما فى بقية موسم النمو. تستعمل نترات النشادر كمصدر للنيتروجين، وحامض الفوسفوريك كمصدر للفوسفور، وسلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم، أو قد يستعمل سماد مركب ذات نسبة سمادية ٤ : ١ : ٤.

الفصل السابع

تسميد الخضر الجذرية والدرنية

(البطاطس – البطاطا – القلقاس – الجزر – اللفت - البنجر)

البطاطس

تعتبر البطاطس من محاصيل الخضر التى تسمد تسميدًا غزيرًا؛ لأنها تستجيب للتسميد، وتعطى عائدًا اقتصاديًا مجزيًا، ولأنها من المحاصيل المجهدة للتربة. وتتطلب الأصناف المتأخرة كميات من الأسمدة أكبر من تلك التى تُعطاها الأصناف المبكرة؛ نظرًا لزيادة فترة نموها وزيادة محصولها.

العناصر الضرورية للنبات وأهميتها

النيتروجين

يعتبر التسميد الآزوتى المعتدل ضروريًا للحصول على أفضل نموٍ وأعلى محصول. وتزداد الحاجة إلى التسميد الآزوتى المبكر فى الأصناف المبكرة عنه فى الأصناف المتأخرة لتشجيع النمو الخضرى فى الأصناف المبكرة قبل أن تبدأ فى تكوين الدرنات.

ويؤدى نقص النيتروجين إلى ضعف النمو الخضرى، وبهتان لون الأوراق، كما تصبح الأوراق متصلبة وتتجه إلى أعلى، وتنضج النباتات مبكرًا، ويكون محصولها منخفضًا.

وقد وجد Westermann وآخرون (١٩٩٤) أن محتوى النترات فى أعناق الأوراق يرتبط إيجابيًا بالمحصول، وسلبيًا بالكثافة النوعية للدرنات.

هذا .. بينما يؤدى الإفراط فى التسميد الآزوتى إلى ما يلى:

١– تأخير النضج.

٢- زيادة حساسية الدرنات للتسلخ وللأضرار الميكانيكية عند الحصاد.

٣- زيادة نسبة النشا في الدرنات، ونقص كثافتها النوعية، ونقص المحصول.

وتعتبر البطاطس حساسة للتركيزات العالية من الأمونيوم والنيتريت nitrite؛ ولذا.. لا يجوز التسميد بكميات كبيرة من اليوريا، أو إضافتها نثرًا على سطح التربة.

الفوسفور

يحفز الفوسفور النمو الخضرى للبطاطس، والانقسام الخلوى بالجذور، ووضع الدرنات، وتمثيل النشا. ويعد توفر الفوسفور بالقدر الكافي أمرًا ضروريًّا لإنتاج اعلى محصول من الدرنات، مع زيادة محتواها من المواد الصلبة، وارتفاع قيمتها الغذائية، والمقاومة لبعض الأمراض. وحتى في الأراضي الغنية بالفوسفور فإن إنتاج أعلى محصول يتطلب التسميد بما يزيد عن ١٥٠ كجم K_2O للهكتار (٦٣ كجم/ فدان) (Rosen وآخرون ٢٠١٤).

ومن أبرز أعراض نقص الفوسفور التفاف أعناق الأوراق، والوريقات وحوافها إلى أعلى، وصغر حجم الوريقات، مع اكتسابها لونًا داكنًا عن اللون الأخضر العادي، وصلابة النبات بصورةٍ عامةٍ. كذلك قد تظهر بقع صدئة متناثرة داخلية في درنات النباتات التي تعاني من نقص العنصر (Houghland ١٩٦٤). وقد وجد McArthur & Knowles (١٩٩٣) أن نمو البطاطس في وجود تركيزات منخفضة من الفوسفور — صفر أو ٠,٥ مللي مولارًا — أدى إلى ظهور أعراض نقص العنصر بعد ٢٨، و٨٤ يومًا من الزراعة في المستويين — على التوالي — مقارنةً بالنباتات التي نمت في وجود تركيز عالٍ (٢,٥ مللي مولارًا) من العنصر. كما أدى التسميد بالمعدلات المنخفضة من العنصر إلى نقص معدل النمو النسبي للنباتات، مع نقص وزنها الجاف — بعد ٨٤ يومًا من الزراعة — بنسبة ٦٥٪ و٤٥٪، ونقص محتواها الكلي من الفوسفور بنسبة ٧٦٪ و٥٥٪ في المستويين المنخفضين — على التوالي — مقارنةً بالمستوى المرتفع.

هذا .. إلا أن المغالاة في التسميد بالفوسفور تؤدى إلى ما يلي:

١- ظهور أعراض نقص الزنك: يحدث ذلك عند زيادة نسبة الفوسفور إلى الزنك فى النبات عن ١: ٤٠٠. وتعالج هذه الحالة بالتسميد بسلفات الزنك بمعدل ١٥ كجم للفدان.

٢- نقص الكثافة النوعية للدرنات عندما تكون الزيادة فى معدلات التسميد الفوسفاتى أكبر بكثيرٍ مما ينبغى.

البوتاسيوم

يعتبر التسميد البوتاسى المعتدل — كذلك — ضروريًّا للنمو الجيد؛ فهو عنصر ضرورى لزيادة حجم الدرنات. وتختلف الأصناف فى حساسيتها لنقص البوتاسيوم، وأكثرها حساسية الأصناف المبكرة والسريعة النمو.

ومن أهم مظاهر نقص البوتاسيوم بطء نمو النباتات التى تبدو مندمجةً، كما تبدو الأوراق أقل حجمًا لأن وريقاتها تكون أكثر قربًا من بعضها البعض عما فى النباتات التى لا تعانى من نقص العنصر. كذلك تشكل الوريقات زوايا حادةً مع عنق الورقة المركبة، وتصبح مجعدةً، وتلتف إلى أسفل. وفى البداية يكون لون النمو الخضرى أخضر قاتمًا، ولكن سريعًا ما تبدأ الأوراق السفلى للنبات فى الاصفرار وتكتسب لونًا برونزيًّا، مع بداية التغير من قمة وحواف الوريقات، وتقدمه تدريجيًّا نحو الداخل، إلى أن تتأثر الورقة كلها وتموت فى نهاية الأمر. ومع استمرار نقص العنصر يتقدم ظهور الأعراض باتجاه الأوراق العليا للنبات، التى تبقى مجموعة منها غالبًا خضراء عادية المظهر فى قمة النبات، إلى أن يموت النبات كله.

ومن الأعراض الأخرى المميزة لنقص البوتاسيوم ظهور بقعٍ متناثرةٍ متغير اللون على السيقان وأعناق الأوراق، وقصر السيقان الأرضية stolons، وضعف النمو الجذرى والدرنى (Houghland ١٩٦٤).

هذا .. إلا أن المغالاة فى التسميد البوتاسى تؤدى إلى ما يلى:

١- زيادة امتصاص عنصر البوتاسيوم، ويكون ذلك على حساب امتصاص عنصرى الكالسيوم والمغنيسيوم؛ مما يؤدى إلى نقص المحصول.

٢- نقص نسبة المادة الجافة فى الدرنات، ونقص كثافتها النوعية. وقد لوحظ ازدياد معدل النقص فى الكثافة النوعية؛ بزيادة معدلات التسميد بكلوريد البوتاسيوم عما هو فى حالة زيادة معدلات التسميد بكبريتات البوتاسيوم (Burton ١٩٤٨، Smith ١٩٦٨). وقد تأكد أن زيادة امتصاص النبات لعنصر الكلور تؤدى إلى نقص المحصول، ونقص الكثافة النوعية للدرنات، ونقص نسبة المادة الجافة فيها. وتكون هذه التأثيرات واضحة عند زيادة نسبة أيون الكلور فى أنسجة النبات عن ٥٠٠ جزء فى المليون.

الكالسيوم

من أبرز مظاهر نقص الكالسيوم اصفرار حواف الوريقات الصغيرة فى القمة النامية للنبات، ثم موت هذه الحواف؛ الأمر الذى يؤدى إما إلى نموها إلى وريقات غير طبيعية، وإما إلى موت الوريقات، ثم موت القمة النامية للنبات. وتظهر الأعراض ذاتها على النموات الجانبية التى تتكون — عادة — عند موت القمة النامية للنبات. كذلك تظهر بقع ميتة فى مركز الدرنات، وخاصة عند طرفها المتصل بالنبات. وإذا حدث تعرض النبات لنقص العنصر فى نهاية الموسم، فإن أعراض الدرنات قد تظهر، بينما تبدو النموات الخضرية طبيعية المظهر؛ ولذا.. يجب أن يستمر إمداد النبات بالكالسيوم ما استمر فى تكوين أنسجةٍ جديدة.

ويؤدى توافر عنصر الكالسيوم إلى زيادة مقاومة درنات البطاطس للبكتيريا *Erwinia carotovora* pv. *atroseptica* المسببة لمرض العفن الطرى. كما يقلل الكالسيوم من إصابة الدرنات بعديدٍ من العيوب الفسيولوجية؛ مثل التبقع البنى الداخلى، والقلب الأجوف، والنخاع البنى. هذا فضلاً على تحسين الكالسيوم لجودة الدرنات وصلاحيتها للتخزين (عن Palta ١٩٩٦).

ويتسبب النقص الشديد للكالسيوم فى موت القمة النامية فى البطاطس؛ الأمر الذى يترتب عليه انتهاء حالة السيادة القمية، وظهور عدد كبير من النموات الجانبية (Ozgen وآخرون ٢٠١١).

وقد أظهرت درنات البطاطس المنتجة فى ظروف عدم التسميد بالكالسيوم أعلى شدة إصابة بالتلون البنى الداخلى، وهو الذى بدأ مع بداية تكوين الدرنات، وازدادت شدة الإصابة بالعيب الفسيولوجى أكثر عند ارتفاع الحرارة إلى ٣٢°م وقت اكتمال تكوين الدرنات مع غياب الكالسيوم، إلا أن ظروف ارتفاع الحرارة — مع توفر الكالسيوم — لم تؤد إلى ظهور حالة التلون البنى الداخلى. ولقد كان الفرق واضحًا فى محتوى قشرة الدرنات من الكالسيوم عند عدم التسميد بالعنصر (٠,٥ — ٠,٨ جم/كجم) مقارنة بمحتواها عند التسميد (١,٢— ١,٩ جم/كجم)، بينما كان محتوى أنسجة نسيج النخاع من الكالسيوم واحدًا فى حالتى التسميد (Olsen وآخرون ١٩٩٦).

تُفيد التغذية بالكالسيوم بالقرب من الدرنات النامية فى تقليل حالات الإصابة بالعيوب الفسيولوجية الداخلية بالدرنات، مثل البقع البنية الداخلية والقلب الأجوف، كما أن زيادة محتوى الدرنات من الكالسيوم يزيد من تحملها للخدوش ومن قدرتها التخزينية، وتقل إصابتها بالعفن الطرى البكتيرى. ولقد وجد فى بعض الأصناف أن جودة تقاوى البطاطس يمكن أن تتحسّن بزيادة محتواها من الكالسيوم، وذلك بتغذيتها بالعنصر أثناء تكوينها فى الموسم السابق لزراعتها. هذا .. فضلاً عن أن تغذية البطاطس بالكالسيوم أثناء نموها وتوفره بالأوراق عند مستوى معين يساعد فى زيادة تحمل النبات لكل من شد البرودة وشد الحرارة (Palta ٢٠١٠).

المغنيسيوم

تظهر أعراض نقص المغنيسيوم على الأوراق السفلى أولاً، ثم تتجه تدريجيًّا نحو الأوراق العليا. وفى بداية الأمر يختفى اللون الأخضر بين العروق فى قمة الوريقات، وخاصةً الوريقات الطرفية للأوراق السفلى — ثم تمتد الأعراض نحو مركز الوريقات التى تصبح صفراء كلية — تقريبًا — بين العروق، ثم تظهر بها مساحات صغيرة ميتة بنية اللون على امتداد العروق، وقد تصبح المساحات بين العروق بيضاء اللون، وترتفع قليلاً إلى أعلى، بينما تنحنى حواف الوريقات وقمتها إلى أسفل. وتكون الأوراق المتأثرة بهذه

الأعراض متصلبة وسهلة التقصف؛ الأمر الذى يميزها عن الأوراق التى تكون صفراء اللون طبيعيًّا بسبب شيخوختها (Houghland ١٩٦٤).

الكبريت

نادرًا ما تظهر أعراض نقص الكبريت على نباتات البطاطس تحت ظروف الحقل؛ نظرًا لاحتواء معظم الأسمدة على العنصر فى صورة كبريتات. وعمومًا.. فإن أعراض نقص العنصر — إن ظهرت — تكون فى صورة اصفرارٍ بالأوراق، وتخشب بالسيقان، وضعف فى النمو الجذرى.

الحديد

من أبرز أعراض نقص الحديد ظهور اصفرار خفيف بين العروق فى الأوراق الحديثة؛ ينتشر سريعًا ليشمل كل سطح الورقة. ومع استمرار نقص العنصر يتحول لون الورقة إلى الأصفر الشاحب، ثم إلى الأبيض.

الزنك

يؤدى نقص عنصر الزنك إلى تقزم نباتات البطاطس، مع التفاف الأوراق الحديثة إلى أعلى واصفرارها، ويعقب ذلك ظهور مساحات بنيةٍ ضاربةٍ إلى الرمادى، أو بنية اللون على الأوراق الوسطية للنبات، ولا تلبث هذه المساحات أن تموت وتتحلل، ثم تظهر الأعراض ذاتها على الأوراق الأخرى بالنبات. كذلك قد تظهر البقع البنية اللون على السيقان وأعناق الأوراق.

المنجنيز

تظهر أعراض نقص المنجنيز على صورة اصفرارٍ بين العروق فى الأوراق العليا للنبات.

البورون

تموت القمم النامية لسيقان نباتات البطاطس التى تعانى نقص عنصر البورون؛ مما يؤدى إلى نشاط نمو البراعم الإبطية. ومن الأعراض الأخرى لنقص العنصر قِصر

السلاميات، وزيادة سمك الأوراق، والتفافها إلى أعلى، مع اكتساب الأوراق الحديثة لونًا أخضر شاحبًا، واصفرار النمو الخضرى بصورةٍ عامةٍ. وإذا فحصت جذور هذه النباتات، فإنها تبدو قصيرةً ومتقزمةً.

وفى الحالات الشديدة لنقص البورون يصاحب اختفاء اللون الأخضر من الأوراق ظهور لون قرمزى، كما تموت قمم الوريقات وحوافها.

وتلاحظ الأعراض الداخلية لنقص البورون عند القمم النامية لكل من الجذور والسيقان؛ حيث يظهر تلون بنى ينتج عن انهيار الخلايا فى تلك المناطق، يتبعه موت القمة النامية، ثم تظهر أعراض مماثلة فى البراعم الإبطية، وفى الأنسجة الداخلية للفروع الجانبية.

أما الدرنات، فإنها تكون فى النباتات التى تعانى من نقص البورون أصغر من حجمها الطبيعى، وتتمزق مساحات من سطحها، ويظهر تلون بنى تحت الجلد، وخاصةً فى طرف الدرنة المتصل بالنبات. كما يظهر تلون بنى فى النسيج الوعائى يكون شديدًا بالقرب من الطرف المتصل بالساق، وتقل حدته تدريجيًا فى اتجاه الطرف الآخر للدرنة.

ويمكن أن تظهر مشاكل من التسمم بالبورون عند زيادة كمية الأسمدة المضافة، أو عدم تجانس توزيعها فى الحقل. ومن أعراض ذلك موت النموات الجديدة بعد فترة قصيرة من الإنبات، وفشل الجذور فى التكوين، وضعف مظهر النبات، واصفرار حواف الوريقات أو اكتسابها لونًا أبيض، ونقص المحصول (Houghland ١٩٦٤).

ولمزيد من التفاصيل عن أهمية البورون وأعراض نقصه.. يراجع Gupta (١٩٧٩).

مراحل نمو نبات البطاطس ذات العلاقة ببرنامج التسميد

يمر نبات البطاطس بأربع مراحل للنمو تكون وثيقة الصلة ببرنامج التسميد، كما يلى:

المرحلة الأولى

وهى مرحلة النمو النباتى بعد الزراعة وحتى بدء وضع الدرنات.

المرحلة الثانية

تبدأ هذه المرحلة مع بدء وضع الدرنات فى قمم السيقان الأرضية، وهى العملية التى تُعرف باسم tuberization، وتكون قبل الإزهار بنحو ١٠- ١٤ يومًا. وتعرف عملية وضع الدرنات بأنها تضخم فى قمم المدادات إلى نحو ضعف قطرها الطبيعى. ولا تحدث خلال هذه المرحلة أية زيادة فى حجم الدرنات التى تكون قد بدأت فى التكوين، أو تكون هذه الزيادة قليلة ولا تذكر.

المرحلة الثالثة

هى مرحلة زيادة الدرنات – التى بدأت فى التكوين – فى الحجم، وهى العملية التى تُعرف باسم bulking. يكون نمو الدرنة خطيًّا إذا كانت كل ظروف النمو مثالية. ويزداد الوزن الجاف للدرنة نتيجة لانتقال العناصر الغذائية والغذاء المجهز من الجذور والنموات الخضرية إليها.

المرحلة الرابعة

يكتمل تكوين الدرنات فى هذه المرحلة، مع بدء اصفرار الأوراق وفقدان بعضها (Lang وآخرون ١٩٩٩).

احتياجات البطاطس من العناصر السمادية

النيتروجين

على الرغم من أن النبات يحتاج إلى عنصر النيتروجين خلال جميع مراحل نموه، فإن حاجته إلى العنصر تزداد – بصورة خاصة – فى مرحلة النمو الخضرى السريع، التى تستمر لمدة حوالى شهر بعد أن يصل ارتفاع النبات إلى حوالى ١٥- ٢٠ سم، ويكون ذلك – عادة – خلال الشهر الثانى بعد الزراعة.

وبينما يصل تركيز النيتروجين فى الدرنات إلى أعلى مستوى له فى المراحل الأولى لتكوينها، وينخفض تدريجيًّا حتى عمر ٥٦- ٧٠ يومًا من الإنبات، ثم يرتفع قليلاً بعد ذلك، فإن حاجة الدرنات من العنصر تزداد تدريجيًّا خلال جميع مراحل تكوينها، بينما تبلغ حاجة النموات الخضرية من العنصر إلى أقصاها بعد ٥٦ يومًا من الإنبات (Mazur & Voitas ١٩٩٢).

وتقدر الكمية الإجمالية من النيتروجين التى تصل إلى مختلف الأجزاء النباتية (النموات الهوائية، والجذور، والدرنات) لمحصول جيدٍ من البطاطس بحوالى ١٥٠- ٢٠٠ كجم/ هكتار (٦٢- ٨٣ كجم/فدان). وطبيعى أن يمثل ذلك المدى الحد الأدنى لكمية النيتروجين التى يجب أن تتيسر فى منطقة نمو جذور البطاطس.

الفوسفور

كما هى الحال مع النيتروجين، فإن نبات البطاطس يحتاج إلى الفوسفور فى جميع مراحل نموه، إلا أن حاجته إلى العنصر تزداد — خاصة — فى مراحل النمو الخضرى السريع خلال الشهر الثانى بعد الزراعة. وتقدر الكمية الإجمالية من P_2O_5 التى تصل إلى مختلف الأجزاء النباتية فى محصول جيدٍ من البطاطس بنحو ٤٥ كجم/ هكتار (حوالى ٢٠ كجم/فدان). ونظرًا لأن الفوسفور يثبت بمعدلات عاليةٍ فى الأراضى القلوية، فإن هذا الأمر يجب أن يؤخذ فى الحسبان عند وضع برنامج التسميد الفوسفاتى.

وقد وجد فى دراسة أجريت فى تربة رملية تقل قدرتها على تثبيت الفوسفور أن إضافة السماد الفوسفاتى بمعدلات عالية وصلت إلى ٤٨٠ كجم P للهكتار (٢٠٠ كجم P للفدان) بطريقة النثر على كل سطح التربة مع خلطة بالطبقة السطحية كان أفضل من إضافته مركزًا (فى شرائط bands) على جانبى خط الزراعة (Hegney & McPharlin ١٩٩٩)، إلا أن ذلك الإجراء لا يوصى به فى الأراضى القلوية التى يزيد فيها تثبيت الفوسفور، ولا عندما يكون التسميد الفوسفاتى بمعدل أقل من ذلك.

وكانت الكثافة النوعية للدرنات هى الصفة الوحيدة المقيسة التى ارتبطت سلبيًّا مع

زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي حتى ٤٧٥ كجم P للهكتار (٢٠٠ كجم P للفدان) (Freeman وآخرون ١٩٩٨).

إن الهدف الرئيسي لإدارة التغذية بالفوسفور في البطاطس هو المحافظة على مستوى مناسب من الفوسفور في المحلول الأرضي عند سطح الجذور. ونظرًا لضعف كثافة النمو الجذري للبطاطس، فإن ذلك يعني ضرورة زيادة تركيز الفوسفور في اختبارات التربة عما يلزم لمعظم المحاصيل الأخرى. ومن ناحية أخرى فإن الفوسفور يتفاعل مع كل من الحديد والألومنيوم في الأراضي المعتدلة الحموضة، ومع الكالسيوم في الأراضي القلوية؛ ليكون مركبات غير ذائبة.

ولذا.. فإن إدارة التسميد الفوسفاتي يتطلب ما يلي:

١- اتباع الأساليب الزراعية التي تسمح بأن تكون التربة مناسبة لنمو الجذور وتطورها.

٢- التحكم في مصادر الأسمدة الفوسفاتية ومعدلات التسميد وطرق إضافتها التي تسمح بالمحافظة على المستوى المثالي من الفوسفور في المحلول الأرضي خلال المراحل الحرجة للنمو.

٣- اتباع أساليب المحافظة على التربة والماء لخفض فقد الفوسفور من منطقة نمو الجذور والحقل إلى أدنى ما يمكن (Fixen & Bruulsema ٢٠١٤).

وتتطلب الإدارة المثلى للتسميد بالفوسفور في البطاطس ما يلي:

١- التسميد بكمية الفوسفور التي يوصى بها تبعًا لتحليل التربة.

٢- إضافة السماد الفوسفاتي في حزام على مسافة ٥ سم من قطعة التقاوي، وخاصة في الأراضي الرملية أو حينما يستعمل فوسفات ثنائي الأمونيوم أو فوسفات أحادي الأمونيوم في التسميد.

٣- اللجوء إلى اختبار الفوسفور بأعناق الأوراق لتحديد مدى الحاجة للتسميد بالفوسفور خلال موسم النمو.

٤–يؤخذ فى الاعتبار كل مصادر الفوسفور المضافة، بما فى ذلك الأسمدة الحيوانية.

٥–تطبيق أفضل ممارسات المحافظة على التربة لتقليل فقد الفوسفور مع الماء السطحى (Rosen وآخرون ٢٠١٤).

ويمكن زيادة كفاءة استخدام الفوسفور فى البطاطس بالتحكم فى بيئة المحيط الجذرى بالوسائل التالية:

١–رفع الرقم الأيدروجينى فى الأراضى الحامضية.

٢–إضافة السماد فى المحيط الجذرى إما نثرًا وإما فى حزام مركز وذلك أفضل.

٣–استخدام الأسمدة الفوسفاتية البطيئة الذوبان أو المتحكم فى تيسرها.

٤–استخدام الأحماض العضوية لزيادة ذوبان الفوسفور فى الأراضى القلوية.

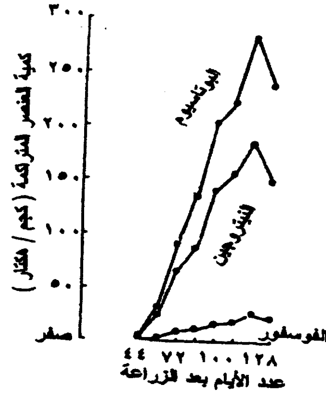
٥–استخدام بوليمر حامضى acid polymer.

٦–زيادة حيز المحيط الجذرى الفعال بأى ممارسات يمكن أن تحفز النمو الجذرى وتزيد من فاعليته، مثل تحفيز نمو الميكوريزا (Hopkins وآخرون ٢٠١٤).

البوتاسيوم

تصل إلى مختلف الأجزاء النباتية للبطاطس نحو ٣٠٠ كجم من البوتاسيوم (فى صورة K_2O) للهكتار (حوالى ١٢٥ كجم K_2O للفدان).

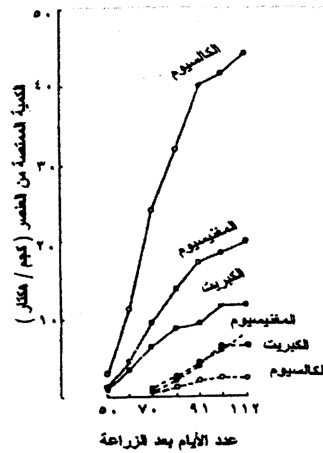
هذا .. ويوضح شكل (٧–١) الزيادة فى الكمية الممتصة من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم مع النمو. ويتضح من الشكل أن الكميات التى يمتصها النبات من عنصرى النيتروجين والبوتاسيوم تزيد كثيرًا عما يمتصه من عنصر الفوسفور، كما أن الدرنات تصبح المخزن الرئيسى لما يقوم النبات بامتصاصه من هذه العناصر بعد ١٤ يومًا من بداية تكوينها (Harris ١٩٧٨).



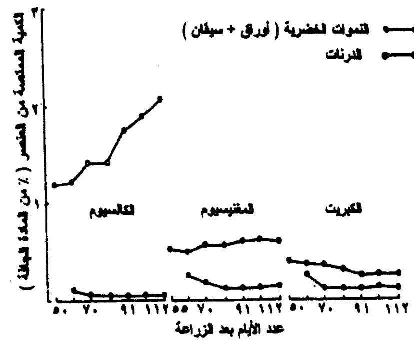
شكل (٧-١): الزيادة فى الكمية الكلية الممتصة من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم مع النمو.

الكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريت

يبين شكل (٧-٢) الكميات الكلية التى يمتصها نبات البطاطس من عناصر الكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريت أثناء موسم النمو، والكمية الفعلية التى تصل إلى الدرنات من هذه العناصر. ويتضح من الشكل أن الكمية الكلية المتراكمة من الكالسيوم الممتص تبلغ ضعف كمية المغنيسيوم، وأربعة أضعاف كمية الكبريت، إلا أن ٦٪ فقط من كمية الكالسيوم الممتصة، تذهب إلى الدرنات، بالمقارنة بنحو ٤١٪، و٥٥٪ من كميات المغنيسيوم والكبريت الممتصة على التوالى. وعمومًا.. فإن نسبة ما يصل إلى الدرنات من هذه العناصر أقل بكثيرٍ مما يصل إلى الدرنات من الكميات التى يمتصها النبات من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم . ويوضح شكل (٧-٣) التغيرات فى الكميات الممتصة من عناصر الكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريت كنسبة مئوية من المادة الجافة فى كل من الدرنات، والنموات الخضرية (الأوراق + السيقان) أثناء موسم النمو.



شكل (٧-٢): الكميات الكلية (ـــــ)، والكميات التى تصل إلى الدرنات (.....) من عناصر الكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريت أثناء موسم النمو.



شكل (٧-٣): التغيرات فى الكميات الممتصة من عناصر الكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريت كنسبة مئوية من المادة الجافة فى كل من الدرنات والنموات الخضرية (الأوراق + السيقان).

كميات العناصر التى تزيلها البطاطس من التربة

نظرًا لأن كميات العناصر التى تصل إلى الدرنات تُزال نهائيًا من الحقل مع المحصول، بينما يعود إلى التربة ما يكون قد استقر فى بقية الأجزاء النباتية من عناصر ممتصة؛ لذا فإن معرفة كمية العناصر التى تذهب إلى الدرنات يفيد فى التخطيط للبرنامج التسميدى لكل من البطاطس والمحاصيل التى تليها فى الدورة، ويبين ذلك فى جدول (٧-١) لكل طنٍ من محصول الدرنات، إلا أن هذه القيم تتأثر كثيرًا بكمية المحصول، وبالعوامل التى تؤثر على المحصول. فمثلاً .. يتضح من جدول (٧-٢) أن زيادة التسميد الآزوتى تصاحبها زيادة كبيرة فى المحصول، كما تزيد كمية النيتروجين التى تصل إلى كل طن من الدرنات الطازجة، إلا أن الكميات المناظرة من عنصرى الفوسفور والبوتاسيوم تتناقص مع زيادة التسميد الآزوتى.

جدول (٧-١): كميات العناصر التى توجد بكل طن من الدرنات الطازجة.

العنصر	كمية
النيتروجين	٢,٣٦- ٢,٦٨ كيلو جرام
الفوسفور	٠,٥٣- ٠,٦٢ كيلو جرام
البوتاسيوم	٣,٩٣- ٤,٦٧ كيلو جرام
الكالسيوم	٧٠- ٢٠٠ جرام
المغنيسيوم	١٣٠- ٢٢٠ جرام
الكبريت	٢١٠ — ٤٨٠ جرام
الزنك	١,٨- ٥,٠ جرام
النحاس	١,٤- ٢,٢ جرام
المنجنيز	١,٣- ٢,١ جرام
الحديد	٤,٢ جرام
البورون	٦٢٠ ملليجرام
الموليبدنم	٣٧ ملليجرام
الصوديوم	٢٣٠ جرام

جدول (٧-٢): تأثير التسميد الآزوتى على كميات النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم التى تصل إلى كل طن من الدرنات الطازجة.

معاملة التسميد الأزوتى (كجم نيتروجين/هكتار)	محصول الدرنات (طن/هكتار)	كميات العناصر (كجم/طن من الدرنات الطازجة)		
		نيتروجين	فوسفور	بوتاسيوم
صفر	١١,٩٥	٢,٨١	٠,٥٠	٥,٤١
٩٤	١٩,٥٧	٣,٢٦	٠,٤٦	٥,٢٤
١٨٨	٢٢,٧٤	٣,٥٧	٠,٤٥	٤,٧٣

تحليل التربة

يفيد تحليل التربة فى تحديد مدى الحاجة للتسميد بالنيتروجين حسب المحصول المتوقع، كما يتضح من جدول (٧- ٣).

جدول (٧-٣): احتياجات البطاطس من النيتروجين حسب تحليل التربة والمحصول المتوقع (Lang وآخرون ١٩٩٩).

النيتروجين فى تحليل التربة ($NH_4 + NO_3$)	المحصول المتوقع (طن/ فدان)			
	٢٠	٢٥	٣٠	٣٥
جزء فى المليون	معدل التسميد بالنيتروجين (كجم / فدان)			
صفر	١٠٠	١٢٥	١٥٠	١٧٥
١٠	٨٠	١٠٥	١٣٠	١٥٥
٢٠	٦٠	٨٥	١١٠	١٣٥
٣٠	٤٠	٦٥	٩٠	١١٥

هذا.. ويجب تعديل الأرقام السابقة لتتماشى مع ظروف الحقل؛ فيلزم إضافة ٥ كجم N/ فدان إذا كانت هناك بقايا نباتية غير متحللة ذات نسبة عالية من الكربون إلى

النيتروجين مثل قش النجيليات وحطب الذرة، وخصم حوالى ٣٠- ٤٠ كجم N/ فدان إذا جاءت زراعة البطاطس بعد برسيم، وكذلك خصم كميات العنصر المضافة مع السماد العضوى، وزيادة الكميات المستعملة بمقدار ١٥- ٢٠ كجم N/ فدان فى الأراضى الرملية لتعويض الفاقد بالرشح (Hopkins وآخرون ٢٠١٠).

وحسب مرحلة النمو، فإن النيتروجين النتراتى والنشادرى فى الـ ٤٥ سم العلوية من التربة يجب أن يكون فى الحدود التالية (Lang وآخرون ١٩٩٩).

مرحلة النمو	النيتروجين (جزء فى المليون)
١	١٥
٢	> ١٠ وحتى ١٥
٣	١٠
٤	> ١٠

ويفيد تحليل التربة فى تعرُّف مدى حاجة النباتات إلى التسميد الفوسفاتى، وفى تحديد مدى استجابتها له؛ فالبطاطس لا تستجيب للتسميد الفوسفاتى إذا زاد مستوى الفوسفور الذائب فى التربة على ٨٠ جزءًا فى المليون، وتكون الاستجابة ضعيفة إذا تراوح مستوى الفوسفور فى التربة بين ٤٠ جزءًا و ٨٠ جزءًا فى المليون، لكن الاستجابة تكون مؤكدة عندما ينخفض مستوى الفوسفور فى التربة عن ٤٠ جزءًا فى المليون.

وبينما نجد أن زيادة التسميد الفوسفاتى عما يلزم للنمو الجيد لا جدوى منها لزيادة محصول الدرنات، فإن الوصول إلى أعلى محصول من البطاطس يتطلب خلط السماد الفوسفاتى بالتربة أثناء تجهيز الأرض قبل الزراعة.

وتحتاج البطاطس للتسميد بالفوسفور حسب محتوى التربة من العنصر فى الثلاثين سنتيمترًا العلوية من التربة، كما يلى (Lang وآخرون ١٩٩٩):

اختبار الفوسفور بالتربة (بيكربونات الصوديوم) بالجزء فى المليون	معدل التسميد المطلوب (كجم/فدان) P	P₂O₅
٣	٦٥	١٥٠
٦	٤٥	١٠٠
٩	٣٥	١٣٠
١٢	٢٥	٥٥
١٢- ٢٠	١٥	٣٥
< ٢٠	صفر	صفر

كما يتوقف معدل التسميد الفوسفاتى المناسب على تحليل التربة، كما يلى:

مستوى الفوسفور P فى التربة (جزء فى المليون)	معدل التسميد الفوسفاتى المناسب (كجم P_2O_5 للفدان)
صفر – ١٥	٨٠- ١٠٠
١٥- ٢٥	٦٠- ٨٠
٢٥- ٤٠	٤٠- ٦٠
< ٤٠	٤٠

هذا.. وتبلغ نسبة الفوسفور فى الأراضى المصرية التى تزرع فيها البطاطس من ٠,٢- ٠,٥٪ كما تبلغ نسبة البوتاسيوم من ٠,٥- ١,٥٪، إلا أن الجزء الميسر للامتصاص من أى منهما أقل من ذلك بكثير.

ولا تستجيب البطاطس للتسميد البوتاسى إذا زاد مستوى البوتاسيوم الذائب فى التربة على ٢٠٠ جزء فى المليون، وتكون الاستجابة ضعيفة إذا تراوح مستوى البوتاسيوم الذائب بين ١٥٠ جزءًا و٢٠٠ جزء فى المليون، ومتوسطة فى مستوى بوتاسيوم من ١٠٠- ١٥٠ جزء فى المليون، وتكون الاستجابة مؤكدة عندما ينخفض مستوى البوتاسيوم الذائب فى التربة عن ١٠٠ جزء فى المليون.

يجب أن تسمد حقول البطاطس بالبوتاسيوم — حسب تحليل التربة في الثلاثين سنتيمترًا العلوية منها — كما يلي (Lang وآخرون ١٩٩٩):

اختبار البوتاسيوم K في التربة (بيكربونات الصوديوم) بالجزء في المليون	معدل التسميد بالبوتاسيوم (كجم/فدان) K	K_2O
٦٠	٢٠٠	٢٤٠
١٢٠	١٥٠	١٨٠
١٨٠	١٠٠	١٢٠
٢٤٠	٥٠	٦٠
> ٢٤٠	صفر	صفر

كما يتوقف معدل التسميد البوتاسي المناسب على تحليل التربة، كما يلي:

مستوى البوتاسيوم K في التربة (جزء في المليون)	معدل التسميد البوتاسي المناسب (كجم K_2O للفدان)
صفر – ٢٠٠	٧٥– ١٠٠
٢٠٠– ٣٠٠	٥٠– ٧٥
٣٠٠– ٤٠٠	صفر – ٥٠
> ٤٠٠	صفر

تحليل النبات

الأجزاء النباتية المستخدمة في التحليل

يفيد تحليل النبات في تحديد مدى حاجته إلى التسميد. ويعتبر التحليل المبكر أكثر فائدةً في هذا الشأن. وتعد أعناق الأوراق والسيقان أكثر الأجزاء النباتية حساسية لمستوى التسميد. ويعد عنق الورقة الرابعة من القمة النامية للنبات هو أفضل دليل على مستوى العنصر في النبات. وأحسن وقتٍ لإجراء التحليل هو عند تكوين الدرنات، ففي هذه المرحلة تستجيب النباتات للتسميد إذا كان مستوى العناصر فيها أقل من الحدود الموصى بها.

وكما أسلفنا.. يستخدم فى التحليل عنق الورقة الرابعة من القمة النامية؛ الأمر الذى يتحتم معه اختيار الورقة بدقةٍ. ولتجنب هذه المشكلة قارن Westermann وآخرون (١٩٩٤) نتائج تحليل الجزء العلوى من الساق بتحليل عنق الورقة الرابعة من القمة النامية تحت ظروف نقص وتوفر مختلف العناصر الضرورية للنبات. وقد حصلوا على الجزء العلوى من الساق بقطع النبات أسفل الورقة السادسة، ثم قطع جميع الأوراق والميرستيم القمى. وقد أوضحت النتائج تماثل نتيجة التحليل بالنسبة لعناصر النيتروجين النتراتى والفوسفور والبوتاسيوم، بينما كان تركيز الزنك أعلى بنسبة ٤٠٪ فى الجزء العلوى من الساق، وتركيز الكالسيوم، والمغنيسيوم، والمنجنيز أقل فى الجزء العلوى من الساق مقارنة بتركيزها فى عنق الورقة الرابعة.

يبدأ جمع الأعناق — عادة — فى بداية مرحلة وضع الدرنات، ويستمر أسبوعيًّا خلال معظم مرحلة نمو الدرنات.

يُجمع— عادة – من ٥٠ إلى ٦٠ عنق ورقة من المساحات التى يُفترض تمثيلها للحقل. يتعين تجريد الأعناق من الوريقات فى الحال بعد جمعها، ثم توضع الأعناق فى إناء نظيف أو كيس ورقى، ثم تجفف سريعًا على ٦٦°م أو تحفظ على أقل من ٥°م إلى حين تحليلها. تؤمن تلك الإجراءات عدم حدوث أية تغيرات فى تركيز العناصر؛ وهو الأمر الذى يمكن أن يحدث فى أنسجة العينات الدافئة الرطبة (Hopkins وآخرون ٢٠١٠).

وللحد من التباينات فى نتائج تحليل العصير الخلوى لعنق الورقة.. يوصى Vitosh & Silva (١٩٩٦) أن يكون جمع عينات الأوراق لأجل تحليلها بين العاشرة صباحًا والثانية عشرة ظهرًا.

المستويات العامة للعناصر الضرورية فى أوراق البطاطس

يقدر المستوى المناسب لمحتوى أوراق البطاطس — التى أكملت نموها حديثًا — من مختلف العناصر الضرورية للنبات — فى بداية مرحلة الإزهار — للحصول على أعلى محصول، كما يلى:

العنصر	التركيز (بالجزء فى المليون على أساس الوزن الجاف)
النيتروجين	٥٠٠٠- ٦٥٠٠
الفوسفور	٣٥٠- ٦٠٠
البوتاسيوم	٥٠٠٠- ٦٥٠٠
الكالسيوم	٦٠٠- ٢٠٠٠
المغنيسيوم	٢٥٠- ٨٠٠
الحديد	٧٠- ١٥٠
الزنك	٢٠- ٨٠
النحاس	٧- ١٥
المنجنيز	٤٠- ٢٠٠
البورون	٢٥- ٧٠
الموليبدنم	٠,٢- ٠,٥

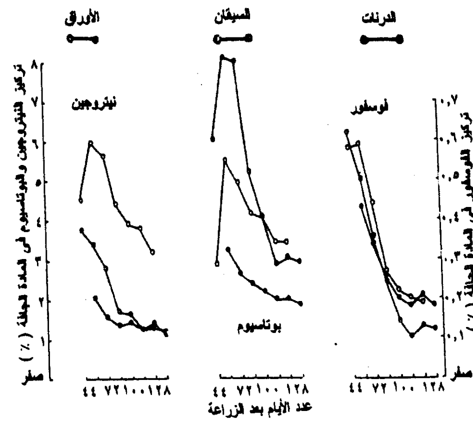
ويبين جدول (٧-٤) مزيدًا من التفاصيل عن تركيزات العناصر بأعناق أوراق البطاطس.

مستويات العناصر الكبرى فى مختلف الأعضاء النباتية والمراحل العمرية

يوضح شكل (٧-٤) التغيرات فى تركيز عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم فى المادة الجافة للنبات باختلاف عمره، وباختلاف الجزء النباتى. ويلاحظ أن تركيز النيتروجين يكون دائمًا فى الأوراق أعلى مما فى السيقان أو الدرنات؛ ويصل إلى أعلى مستوى له (وهو ٦٪ من المادة الجافة) فى المراحل المبكرة من النمو النباتى. ويصل أعلى تركيز للبوتاسيوم وهو ٨٪ من المادة الجافة فى السيقان فى بداية موسم النمو. أما تركيز الفوسفور، فلا يتعدى ٠,٦٪، ولا يختلف كثيرًا فى السيقان عنه فى الدرنات أو فى الأوراق. ويقل تركيز جميع العناصر فى المادة الجافة مع تقدم النبات فى العمر.

جدول (٧-٤): مدى تركيز العناصر المنخفض والحدّى والكافى للنمو الجيد خلال مرحلة نمو امتلاء الدرنات فى عنق الورقة الرابعة من القمة النامية للبطاطس (Hopkins وآخرون ٢٠١٠).

العنصر	المنخفض	الحدّى	الكافى
النيتروجين النتراتى (جزء فى المليون ppm)	١٠٠٠٠ >	١٠٠٠٠–١٥٠٠٠	١٥٠٠٠–٢٠٠٠٠
الفوسفور (٪)	٠,١٧ >	٠,١٧–٠,٢٢	٠,٢٢ <
البوتاسيوم (٪)	٧,٠ >	٧,٠–٨,٠	٨,٠ <
الكالسيوم (٪)	٠,٤ >	٠,٤–٠,٦	٠,٦ <
المغنيسيوم (٪)	٠,١٥ >	٠,١٥–٠,٣	٠,٣ <
الكبريت (٪)	٠,١٥ >	٠,١٥–٠,٢	٠,٢ <
الزنك (ppm)	١٠ >	١٠–٢٠	٢٠ <
المنجنيز (ppm)	٢٠ >	٢٠–٤٠	٤٠ <
الحديد (ppm)	٢٠ >	٢٠–٥٠	٥٠ <
النحاس (ppm)	٢ >	٢–٤	٤ <
البورون (ppm)	١٠ >	١٠–٢٠	٢٠ <



شكل (٧-٤): التغيرات فى تركيز عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم فى المادة الجافة للنبات باختلاف عمره، وباختلاف الجزء النباتى.

هذا.. إلا أن دراسات Maier وآخرون (١٩٩٤) أوضحت وجود تفاعلات بين مستويات التسميد بكل من النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم تؤثر على نتائج تحليل هذه العناصر فى أعناق الأوراق المكتملة النمو ، وكذلك وجود ارتباط سالب بين النيتروجين النتراتى والكلوريد؛ الأمر الذى يستلزم الحذر فى تفسير نتائج تحليل هذه العناصر فى أعناق الأوراق فى بداية موسم النمو.

ويعطى Walworth & Munize (١٩٩٣) مزيدًا من التفاصيل عن مستويات النقص والكفاية والسمية بجميع العناصر الضرورية فى مختلف المراحل العمرية لنبات البطاطس، وفى مختلف الأجزاء النباتية.

النيتروجين

ينخفض مستوى النترات — تدريجيًّا — مع تقدم النبات فى العمر (جدول ٧-٥)؛ فقد يصل المستوى إلى ١٤٠٠٠ جزء فى المليون فى بداية النمو، ثم ينخفض تدريجيًّا فى مراحل النمو المختلفة عند اختلاف مستوى التسميد. هذا.. وتكون العلاقة بين مستوى النيتروجين فى أعناق الأوراق والمحصول الكلى أقوى ما يمكن فى مرحلة الإزهار (عند وضع الدرنات)، وتتقدم هذه العلاقة تدريجيًّا مع تقدم النباتات فى العمر، لدرجة أن النيتروجين النتراتى قد يختفى كليةً فى نهاية موسم النمو، دون أن تكون لذلك أية علاقةٍ بالمحصول.

جدول (٧-٥): مستوى النيتروجين فى نبات البطاطس فى مراحل النمو المختلفة عند اختلاف مستوى التسميد.

مستوى التسميد	تركيز النيتروجين فى مراحل النمو المختلفة (بالجزء فى المليون على أساس الوزن الجاف)			المحصول المتوقع
	بداية النمو	مرحلة الإزهار	قرب الحصاد	
منخفض	٨٠٠٠	٦٠٠٠	٣٠٠٠	منخفض
جيد	١٢٠٠٠	٩٠٠٠	٥٠٠٠	مرتفع

ويستفاد من اختبار مستوى النترات فى أعناق الأوراق فى تحديد تركيز النيتروجين فى الأوراق على أساس الوزن الجاف؛ حيث إن الارتباط كبير بين الصفتين. ويستخدم لذلك جهاز محمول (pH/ISE meter) مزود بقطب كهربائى خاص بأيون النترات. ويخفف العصير الخلوى بمحلول من ٠,٠٧٥ مولارًا من كبريتات الألومنيوم (١٨ جزئ ماء تبلور)، و٠,٠٢ مولارًا من حامض بوريك (Vitosh & Silva ١٩٩٤).

ويوجد شبه إجماع بين الباحثين على ارتباط مستوى النترات فى أعناق الأوراق بمحتوى الأوراق من النيتروجين، وأن التركيز ينخفض فى كلا التحليلين مع تقدم النبات فى العمر. ومن مزايا اختبار أعناق الأوراق إمكان تخزينها على الثلج لمدة ١٦ ساعة، أو تجميدها لمدة ٢٤ ساعة دون أن تتأثر بذلك نتيجة الاختبار (Hochmuth ١٩٩٤).

وفى إحدى الدراسات التى كان الارتباط فيها عاليًا (r^2 = ٠,٩٢٥) بين نتيجة اختبار النترات فى أعناق الأوراق، وتحليل النيتروجين ذاته فى الأوراق، اقترح الباحثون معادلة ارتداد بتحويل نتيجة اختبار النترات فى أعناق الأوراق إلى نسبة مئوية للنيتروجين على أساس الوزن الجاف (عن Kubota وآخرين ١٩٩٦).

وتوضح نتائج دراسات Vitosh & Silva (١٩٩٦) أن مستوى النترات فى العصير الخلوى لعنق الورقة الرابعة من القمة النامية ارتبط بشدة بمستوى التسميد الآزوتى، ومستوى النيتروجين فى التربة. وعلى الرغم من أن التحليل النيتروجين فى أعناق الأوراق بلغ أعلى مستوى له فى بداية موسم النمو، ثم انخفض تدريجيًا مع تقدم النبات فى العمر.. إلا أنه أمكن تأجيل هذا الانخفاض بعمل إضافات جديدة من النيتروجين خلال موسم النمو.

وعلى الرغم من ذلك، فقد توصل آخرون إلى أن اختبار مستوى النترات فى أعناق أوراق البطاطس لم يكن مجديًا فى تحديد الاحتياجات السمادية للمحصول؛ نظرًا لعدم التوصل إلى علاقة ثابتة بين نتيجة هذا الاختبار، ومعدل امتصاص النبات للنيتروجين (MacKerron وآخرون ١٩٩٥).

يُعطى تحليل النيتروجين النتراتي في أعناق أوراق البطاطس نتائج عالية الارتباط مع نتائج التحليل العادى للنيتروجين النتراتي، وأفضل وقت لجمع العينات للتحليل هو بين الحادية عشرة صباحًا والثانية بعد الظهر (Zhang وآخرون ١٩٩٦). وتعد أفضل أعناق الأوراق للتحليل هي الرابعة من القمة النباتية، وهي التي تكون أحدث الأوراق التي أكملت نموها (Vitosh & Silva ١٩٩٦).

ويُعد النيتروجين مناسبًا للنمو وإعطاء أعلى محصول من الدرنات عندما يكون مستوى النيتروجين النتراتي كما يلي حسب مرحلة النمو (Errebhi وآخرون ١٩٩٨):

مرحلة النمو	التركيز المناسب للنيتروجين النتراتي في أعناق الأوراق (مجم/ لتر)
١٥- ٣٠ يومًا بعد الإنبات	١٣٥٠- ١٤٠٠
٣٠- ٧٥ يومًا بعد الإنبات	٥٥٠- ١٣٥٠
عند النضج	٥٥٠- ٦٠٠

وبصورة عامة .. فإن تركيز النترات في أعناق الأوراق يجب أن يكون كما يلي حسب مرحلة النمو، وذلك لأجل الحصول على أفضل نمو (Lang وآخرون ١٩٩٩):

مرحلة النمو	النيتروجين النتراتي (جزء في المليون)
١	-
٢	١٥٠٠٠- ٢٦٠٠٠
٣	١٢٠٠٠- ٢٠٠٠٠
٤	٦٠٠٠- ١٠٠٠٠

ويذكر Minotti وآخرون (١٩٩٤) أنه يمكن الاستفادة من قراءات الكلوروفيل تحت ظروف الحقل (استعمل الباحثون جهاز Minolta SPAD-502 لقياس الكلوروفيل) في تعرُّف الحالات الشديدة لنقص النيتروجين في البطاطس، ولكنها تكون غير ذات فائدة في حالات النقص المحدود للعنصر.

الفوسفور

ينخفض الفوسفور فى النبات مع تقدمه فى العمر، كما هو مبين فى جدول (٧-٦).

جدول (٧-٦): مستوى الفوسفور فى نبات البطاطس فى مراحل النمو المختلفة عند اختلاف مستوى التسميد.

مستوى التسميد	تركيز النيتروجين فى مراحل النمو المختلفة (بالجزء فى المليون على أساس الوزن الجاف)			المحصول المتوقع
	بداية النمو	مرحلة الإزهار	قرب الحصاد	
منخفض	١٢٠٠	٨٠٠	٥٠٠	منخفض
جيد	٢٠٠٠	١٦٠٠	١٠٠٠	مرتفع

يعطى تحليل الفوسفور فى أعناق الأوراق بعد ٢٠ يومًا من الإنبات أفضل ارتباط مع المحصول الكلى والمحصول الاقتصادى. ويعتبر الحد الأدنى المناسب لتركيز الفوسفور (جرام P لكل ١٠٠ جم مادة جافة) — بعد ٢٠ يومًا من الإنبات — لإنتاج أعلى محصول اقتصادى هو: ٠,٤١ فى الأوراق، و٠,٣٩ فى السيقان، و٠,٥٧ فى أعناق الأوراق (Rocha وآخرون ١٩٩٧).

هذا .. إلاّ أن تحليل الفوسفور بطرق التحليل العادية — على أساس الوزن الجاف — فى المراحل المبكرة من النمو يُعد الأفضل ارتباطًا مع النمو والمحصول المتوقع. وينخفض التحليل المناسب من ٠,٥٪ فى المراحل المبكرة جدًّا من النمو الدرنى (٥- ١٠ مم) إلى ٠,٤٪ فى المراحل الوسطية (٣٥- ٤٥مم للصنف Russet Burbank)، ثم إلى ٠,٢٥ فى المراحل المتأخرة من النمو الدرنى (٧٥- ٨٥ مم لنفس الصنف) (Freeman وآخرون ١٩٩٨).

البوتاسيوم

إن أفضل الأوراق للتحليل — بالنسبة للبوتاسيوم — الورقة الثانية من القمة "المسطحة" flat top؛ وهى التى تتكون من عدد من الأوراق غير تامة النمو، وتتساوى

أطرافها فى الطول. وقد وجد أن التركيز الحرج الذى يصاحبه نقص فى المحصول قدره ١٠٪ هو ٢,٣٪ بوتاسيوم على أساس الوزن الجاف فى أنسجة عنق الورقة، و١,١٪ فى أنسجة نصل الورقة. وينخفض تركيز البوتاسيوم فى النبات مع تقدمه فى العمر، كما هو مبين فى جدول (٧-٧).

ويمكن — كذلك — الاستفادة من اختبار البوتاسيوم فى أعناق الأوراق فى الاستدلال على تركيز البوتاسيوم فى الأوراق؛ حيث إن الارتباط قوى بين الصفتين (Hochmuth ١٩٩٤). ويرى Westermann وآخرون (١٩٩٤) أن الحصول على أعلى محصول من البطاطس يتطلب أن يكون تركيز البوتاسيوم فى أعناق الأوراق — عند عمر ١٠٠ يوم بعد الزراعة — أعلى من ٤,٥٪.

جدول (٧-٧): مستوى البوتاسيوم فى نبات البطاطس فى مراحل النمو المختلفة عند اختلاف مستوى التسميد.

مستوى التسميد	تركيز النيتروجين فى مراحل النمو المختلفة (بالجزء فى المليون على أساس الوزن الجاف)			المحصول المتوقع
	بداية النمو	مرحلة الإزهار	قرب الحصاد	
منخفض	٩	٧	٤	منخفض
جيد	١١	٩	٦	مرتفع

وقد كان الارتباط بين تركيز البوتاسيوم فى عنق الورقة الرابعة من القمة النامية ومحصول النبات معنويًا جدًا وموجبًا، وخاصة عند عمر ٣٠ يومًا (r = ٠,٩٥) (Sharma & Arora ١٩٨٩). ويستدل من الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن بخصوص العلاقة بين المحصول وتركيز البوتاسيوم فى كل من الأوراق وأعناق الأوراق، أن المحصول النسبى بلغ ٩٥٪ - ١٠٠٪ من أعلى محصول متوقع عندما كان تركيز البوتاسيوم — بعد ٣٠ يومًا، و٤٥ يومًا، و٦٠ يومًا من الزراعة — فى الحدود المبينة فى جدول (٧-٨).

جدول (٧-٨): تركيز البوتاسيوم فى كلٍ من الورقة الرابعة وعنق الورقة الرابعة من القمة النامية بعد ٣٠، و٤٥، و٦٠ يومًا من الزراعة عندما يكون المحصول فى حدود ٩٥٪ - ١٠٠٪ من أعلى محصول متوقع.

الجزء النباتى المستعمل فى التحليل	تركيز البوتاسيوم (٪ على أساس الوزن الجاف) عند عمر (يوم)		
	٣٠	٤٥	٦٠
الورقة الرابعة	٥,٠٤- ٥,١٥	٤,١٧- ٤,٥٥	٣,٦٨- ٣,٨٩
عنق الورقة الرابعة	٨,١٥- ٨,٤٩	٧,٧٠- ٨,٤٧	٧,١٢- ٧,٦٠

وقد وجد Fontes وآخرون (١٩٩٦) أن تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم فى أعناق أوراق البطاطس بعد ٤٨ يومًا من الإنبات — نقص بازدياد معدل التسميد البوتاسى بين صفر، و٩٦٠ كجم K_2O للهكتار، فى الوقت الذى ازدادت فيه نسبة البوتاسيوم إلى الكالسيوم + المغنيسيوم بزيادة معدلات التسميد. وقد وصل البوتاسيوم إلى أعلى تركيز له فى أعناق كلٍ من أصغر الأوراق المكتملة النمو، وأكبر الأوراق التى لم تدخل بعد مرحلة الشيخوخة (١٠,٤٤٪، وحوالى ٧,١٣٪ على أساس الوزن الجاف، على التوالى) عندما بلغ معدل التسميد البوتاسى ٦٦٠ كجم K_2O للهكتار. وكانت نسبة البوتاسيوم إلى الكالسيوم + المغنيسيوم فى أعناق أصغر الأوراق المكتملة النمو عند أعلى محصول هى ٧,٢٤٪، بينما بلغ تركيز البوتاسيوم فى أعناق الأوراق — على أساس الوزن الجاف — حينئذٍ — ٨,٩١٪ فى أصغر الأوراق المكتملة النمو، و٦,١٦٪ فى أكبر الأوراق التى لم تدخل بعد فى مرحلة الشيخوخة.

كما يمكن الاستفادة من تحليل البوتاسيوم فى أعناق الأوراق خلال مختلف مراحل النمو فى التعرف على المستوى المناسب للنمو الجيد، كما يلى:

مرحلة النمو	التركيز الكافى من البوتاسيوم (٪)
١	-
٢	٨- ١١
٣	٦- ٩
٤	٤- ٦

هذا ويبلغ امتصاص البوتاسيوم حوالى ١,٥- ٣,٥ كجم يوميًا خلال المرحلة الثالثة للنمو (مرحلة الـ bulking أو زيادة الدرنات فى الحجم)، ويمكن أن يتحقق ذلك فى الأراضى الرملية عن طريق الفرتجة.

ولا تجوز إضافة كمية كبيرة من البوتاسيوم إلى جانب التقاوى عند الزراعة حتى لا يتسبب ذلك فى زيادة تركيز الأملاح حول الدرنات النابتة، ولا فى التربة الرملية بصورة عامة حتى لا يُفقد جزء كبير منه بالرشح.

الكالسيوم

يُمتص الكالسيوم مع الماء الذى تمتصه الجذور، ثم ينتقل إلى أعلى فى النبات إلى أن يفقد بالنتح؛ ولذا.. يزداد تركيز الكالسيوم فى الأعضاء النباتية التى تنتح أكثر من غيرها؛ مثل الأوراق؛ ومن ثم .. فإن الدرنات — التى توجد فى وسط تبلغ رطوبته النسبية حوالى ١٠٠٪ — لا يمكنها منافسة الأجزاء العليا للنبات على الكالسيوم؛ لقلة ما يصل إلى أنسجتها من ماء، مقارنة بالأنسجة النباتية الأخرى؛ الأمر الذى يؤدى إلى انخفاض محتواها من الكالسيوم مقارنةً بالأوراق، ويعرضها إلى ظهور أعراض نقص العنصر عليها، والتى تتمثل فى العيب الفسيولوجى: التبقع البنى الداخلى.

وقد اكتشف منذ عام ١٩٨٥ وجود جذور دقة فعّالة على درنات البطاطس، وعند موضع اتصال الدرنات بالسيقان الجارية، وأن هذه الجذور تُسهم بفعالية فى إمداد درنات البطاطس النامية بالماء ومختلف العناصر المغذية، وبخاصة الكالسيوم. وتبين أن هذه الجذور تنشأ من الخلايا البرانشيمية المجاورة للنسيج الوعائى، وأنها تشبه الجذور

العادية فى تركيبها التشريحى. وقد أدت إضافة الكالسيوم فى منطقة الدرنات والسيقان الأرضية إلى زيادة تركيزه فى الدرنات بدرجة أكبر بكثير مما لو أضيف الكالسيوم إلى المجموع الجذرى العادى للنبات؛ حيث ينتقل الكالسيوم الممتص — حينئذ — إلى النموات الخضرية.

ويفيد التسميد بالكالسيوم فى زيادة تحمل النباتات للحرارة العالية؛ حيث تكون النباتات المسمدة جيدًا بالكالسيوم فى هذه الظروف أقوى فى نموها الخضرى من النباتات غير المسمدة جيدًا بالعنصر تحت نفس الظروف (Palta ١٩٩٦).

المغنيسيوم

يتراوح المحتوى الطبيعى لأوراق البطاطس من عنصر المغنيسيوم خلال أقصى مراحل النمو الخضرى بين ٠,٣٪ و٠,٤٪ على أساس الوزن الجاف، وذلك عندما يتوفر العنصر للنبات بصورة كافية لاحتياجاته منه. وتبلغ نسبة العنصر فى الدرنات حوالى ٠,١٥٪ (أيضًا على أساس الوزن الجاف). وتقدر الكمية الإجمالية من العنصر التى تصل إلى مختلف الأجزاء النباتية — الهوائية منها والأرضية — حوالى ٢٠ كجم Mg/ هكتار (حوالى ٨ كجم Mg/ فدان). أو نحو ٣٥ كجم MgO/هكتار (حوالى ١٥ كجم MgO/ فدان).

وكما أسلفنا .. فإن من أعراض نقص المغنيسيوم اصفرار المساحات بين العروق فى الأوراق المسنة، ثم موت الأنسجة فى تلك المناطق، بينما تبقى حواف الورقة خضراء فى البداية، ثم تتحول إلى اللون الأصفر مع استمرار نقص العنصر.

وتجدر الإشارة إلى أن الإفراط فى التسميد البوتاسى يساعد على ظهور أعراض نقص المغنيسيوم، بينما يساعد التسميد الآزوتى الجيد على تخفيف حدة أعراض نقصه. وعلى الرغم من أن أيون الأمونيوم يحد من امتصاص أيون المغنيسيوم، إلا أن النيتروجين الأمونيومى غالبًا ما يتحول فى التربة إلى نيتروجين نتراتى؛ حيث يمتصه النبات على هذه الصورة؛ لذا .. فإن التسميد الآزوتى — على أى من صورتيه — يخفف من حدة أعراض نقص المغنيسيوم.

العناصر الدقيقة

الحديد

من أهم أعراض نقص الحديد — كما أسلفنا — ظهور اصفرار عام على الأوراق الحديثة، مع بقاء العروق — غالبًا — خضراء اللون. وتظهر أعراض نقص العنصر — عادة — عندما يقل تركيزه في التربة عن ٤,٥ جزءًا في المليون عند استخلاصه بالـ DTPA. كذلك تظهر أعراض نقص الحديد عندما ينخفض تركيزه في النموات الخضرية عن ٥٠ جزءًا في المليون على أساس الوزن الجاف. وأفضل وسيلة لإعطاء النباتات حاجتها من العنصر هي رشها مرة أو مرتين بمحلول سلفات الحديدوز $FeSO_4$ بتركيز ٠,٥٪ – ٢,٠٪.

الزنك

تظهر أعراض نقص العنصر — عادة — عندما ينخفض تركيزه في الأوراق عن جزأين في المليون على أساس الوزن الجاف؛ بينما يجب أن تحتوى الورقة التى أكملت نموها حديثًا — في بداية مرحلة الإزهار — على أكثر من ٢٠ جزءًا في المليون من الزنك.

ويتوقع ظهور أعراض نقص الزنك إذا انخفض تركيزه في التربة عن ٠,٨ جزءًا في المليون عند استخلاصه بالـ DTPA.

ويعالج نقص العنصر برش النموات الخضرية بمحلول من كبريتات الزنك.

المنجنيز

تظهر أعراض نقص المنجنيز — عادة — في الأراضي الرملية الجيرية. ولتجنب تعرض محصول البطاطس لنقص العنصر يجب ألا يقل تركيزه في التربة عن جزء واحد في المليون عند استخلاصه منها بالـ diethylenetriamine pentaacetic acid (اختصارًا: DTPA). ويراعى التسميد بالمنجنيز إذا نقص تركيزه في النبات عن ٢٥ جزءًا في المليون على أساس الوزن الجاف، أو بمجرد ملاحظة ظهور أعراض نقص العنصر على النبات.

ويمكن التسميد بالمنجنيز إما برش النباتات بنحو ٥٠٠ لتر/ هكتار (٢١٠ لترات/فدان) بمحلول من سلفات المنجنيز بتركيز ١,٥٪، وإما بإضافة سلفات المنجنيز إلى التربة — إذا أظهر التحليل انخفاض تركيزه فيها عن جزء واحد في المليون — وذلك — بمعدل ٥٠ كجم/ هكتار (حوالى ٢٠ كجم/فدان).

ويستدل من تحليل العناصر الدقيقة فى عنق الورقة الرابعة من قمة النبات (أحدث الأوراق المكتملة التكوين) على مدى كفاية أو نقص تلك العناصر فى النبات، كما يلى (Lang وآخرون ١٩٩٩):

العنصر	التركيز بالجزء فى المليون		
	منخفض	حدى	كاف
البورون	١٠ >	١٠– ٢٠	٢٠ <
النحاس	٢ >	٢– ٤	٤ <
الحديد	٢٠ >	٢٠– ٥٠	٥٠ <
المنجنيز	٢٠ >	٢٠– ٣٠	٣٠ <
الزنك	١٠ >	١٠– ٢٠	٢٠ <

العوامل التى يجب أخذها فى الحسبان عند التسميد

تضاف معظم أسمدة البطاطس عند زراعتها آليًا فى الأراضى المتوسطة والثقيلة القوام مرة واحدة مع الزراعة فى عملية واحدة؛ حيث يوضع السماد فى مستوى أسفل قطعة التقاوى، وإلى الجانب بنحو ٥– ٨ سم. ولا يلزم عادة إضافة أى أسمدة أخرى بعد الزراعة، باستثناء الأسمدة الآزوتية التى قد تلزم إضافة المزيد منها إلى جانب النباتات فى الأراضى الخفيفة، وفى حالات كثرة الأمطار، ويكون ذلك عادة قبل بداية مرحلة تكوين الدرنات.

ويعتبر التسميد ضرورةً لابد منها فى جميع أنواع الأراضى، حتى لو كانت التربة أو مياه الرى غنية ببعض العناصر، كما هى الحال بالنسبة لعنصر البوتاسيوم أحيانًا؛ ذلك لأن التربة مهما ارتفع محتواها من البوتاسيوم أو غيره من العناصر — لا يمكنها إمداد النبات بحاجته المتزايدة من العنصر خلال الفترات القصيرة التى تزداد فيها حاجة النبات إلى مختلف العناصر.

وقد وجد Westermann وآخرون (١٩٩٤) أن محصول البطاطس يزداد بزيادة معدلات التسميد للهكتار حتى ٢٢٤ كجم من النيتروجين (٩٣ كجم للفدان)، و٤٤٨ كجم من K_2O (١٨٧ كجم للفدان)، ولكن زيادة النيتروجين إلى ٣٣٦ كجم للهكتار (١٤٠ كجم للفدان) كان لها تأثير سلبى على المحصول.

هذا.. إلا أن دراسات Joern & Vitosh (١٩٩٥أ) التى أجرياها فى تربة رملية أوضحت أن التسميد الآزوتى بمعدل ١١٢ كجم نيتروجينًا للهكتار (٤٧ كجم للفدان) كان كافيًا لإعطاء محصول جيد من البطاطس، ولكن التربة المستعملة فى تلك الدراسة كانت غنية أصلاً فى النيتروجين؛ إذا إن النباتات امتصت النيتروجين من التربة بمعدلات وصلت — عند بداية مرحلة الشيخوخة — إلى نحو ٢٢٥ كجم للهكتار (٩٤ كجم للفدان). ومن بين الكمية الكلية الممتصة من النيتروجين كانت ٦٧٪ منها فى الدرنات.

وعندما استعمل الباحثان (Joern & Vitosh ١٩٩٥ب) نظير النيتروجين N^{15} فى التسميد، وجدا أن كفاءة امتصاص النيتروجين — فى بداية مرحلة الشيخوخة — كانت ٥٢٪ للنبات كله، و٣٤٪ للدرنات وحدها . وبعد الحصاد وُجد ٢٧٪ من النيتروجين الذى استعمل فى التسميد فى التربة حتى عمق ١٢٠ سم، وكانت نحو ٨٣٪ من هذه الكمية فى الثلاثين سنتيمترًا العلوية من التربة، كما كانت ٩٠٪ منها فى الصورة العضوية. وقد بلغت كميات النيتروجين التى امتصتها النباتات، وتلك التى وجدت فى التربة بعد الحصاد حوالى ٦٣٪ من الكمية الكلية التى استعملت أصلاً فى التسميد.

وبصورة عامة .. تقل معدلات تسميد حقول البطاطس المنتجة بغرض التصنيع بمقدار ١٠٪ إلى ٢٠٪ (وخاصة التسميد الآزوتى) عن معدلات تسميد نظيراتها فى حقول الاستهلاك الطازج لتحقيق هدفين، هما:

١- زيادة الكثافة النوعية ونسبة المادة الجافة بالدرنات حتى لا تكون المنتجات المصنعة زيتية المظهر (كلما انخفضت نسبة المادة الجافة — أى كلما ازدادت نسبة

الرطوبة — كلما ازداد الفقد الرطوبى أثناء القلى، وزاد معه تشبع البطاطس بالزيت الذى يحل محل الماء المفقود، وكلما ازداد استهلاك الزيت).

٢- خفض نسبة السكريات المختزلة التى يزيد معها التلون البنى للشيبس والبطاطس المقلية.

ولنفس هذه الأسباب يجب خفض معدلات التسميد الآزوتى كثيرًا فى نهاية موسم النمو فى الحقول المزروعة لأجل التصنيع، أو وقف التسميد الآزوتى كليًّا فى تلك المرحلة.

إن احتمالات انخفاض الكثافة النوعية للدرنات وارتفاع محتواها من النيتروجين النتراتى تزداد عندما يزيد معدل التسميد الآزوتى عما يلزم لإنتاج أعلى محصول من الدرنات (Bélanger وآخرون ٢٠٠٢).

إن المغالاة فى أى من التسميد الآزوتى أو البوتاسى — مع غنى التربة بأى من هذين العنصرين — قد تؤدى إلى خفض محتوى المواد الصلبة بالدرنات. هذا بينما قد يؤدى التسميد الفوسفاتى إلى تحسين الكثافة النوعية للدرنات عند انخفاض مستوى الفوسفور فى التربة.

كذلك فإن الأسمدة ذات مؤشر (دليل) الملوحة salt index العالى تؤدى إلى خفض الكثافة النوعية للدرنات بدرجة أكبر مما تُحدثه الأسمدة الأقل فى مؤشر الملوحة (Laboski & Kelling ٢٠٠٧).

وقد أدت زيادة معدلات التسميد الآزوتى (لصنف البطاطس Russet Burbank) من صفر إلى ٣٠٠ كجم N للهكتار (صفر إلى ١٢٦ كجم N للفدان) إلى زيادة المساحة الورقية، والقدرة على استقبال الأشعة الشمسية، وطول فترة امتصاص النيتروجين، والمحصول الكلى، ولكن دون التأثير على كفاءة استقبال الأشعة الشمسية، أو معدل امتصاص النيتروجين، أو معدل الزيادة فى نمو الدرنات. هذا.. وقد تضاءل معدل استخدام النباتات للنيتروجين المضاف من ١٠٠٪ عندما أضيف ٧٥ كجم نيتروجين

للهكتار (٣١,٥ كجم نيتروجين للفدان) إلى ٥٨٪ عندما أُضيف النيتروجين بمعدل ٣٠٠ كجم للهكتار (Martin ١٩٩٥).

يفضل — دائمًا — أن يكون التسميد الآزوتي في صورتي العنصر: النتراتية والأمونيومية؛ حيث يؤدى التسميد بمخلوط من الصورتين — مقارنة بالتسميد بإحدى الصورتين فقط، مع استعمال كمية العنصر ذاتها — إلى زيادة تركيز النيتروجين وتراكمه في النموات الخضرية والجذور، وزيادة الوزن الجاف للنبات. وحدث أعلى تراكم للمادة الجافة عندما كان النيتروجين الأمونيومي بنسبة ٨٪ — ٢٠٪ من الآزوت الكلي المستخدم في التسميد. وبينما أدى التسميد بالنيتروجين الأمونيومي منفردًا إلى زيادة تركيز الفوسفور في النموات الخضرية، فإنه أدى — في المقابل — إلى انخفاض تركيز عنصري الكالسيوم والمغنيسيوم (Cao & Tibbits ١٩٩٣).

كما لم يجد Martin وآخرون (١٩٩٣) فائدةً من المعاملة بمثبط النترتة dicyandiamide، إلا أن إضافة isobutyldine diurea بمعدل ٥,٦، أو ١١,٢ كجم للهكتار (٢,٣ أو ٤,٦ كجم للفدان) أدت إلى زيادة محصول الدرنات، وتركيز النيتروجين في الأوراق عند الإزهار.

يؤدى التسميد الفوسفاتي الجيد في الأراضي الفقيرة في الفوسفور إلى سرعة تكوين نمو خضري جيد خلال فترة قصيرة؛ بما يسمح بزيادة الاستفادة — مبكرًا — من الأشعة الشمسية الساقطة؛ الأمر الذي يؤدى إلى زيادة المحصول (Jenkins & Ali ١٩٩٩).

وتتعين إضافة السماد الفوسفاتي للبطاطس في التربة قبل الزراعة لتتحقق أكبر استفادة منه في الأراضي الجيرية، حيث يؤدى ذلك إلى زيادة المحصول وصفات الجودة. وتكون استفادة النباتات من الفوسفور المضاف بطريقة الفرتجة (مع ماء الري) أثناء النمو النباتي ضعيفة (Hopkins وآخرون ٢٠١٠).

وحسبما وجد Papadopoulos (١٩٩٢) .. فإن أفضل تركيز للتسميد بالفوسفور مع مياه الري بالتنقيط هو ٤٠ جزءًا في المليون P_2O_5 (٤٠ جرامًا من P_2O_5 في كل متر

مكعب من مياه الرى)، علمًا بأن الرى كان بمعدل ٠,٨ من الـ USWB Class A pan؛ فعند هذا التركيز للفوسفور فى مياه الرى كان تركيز العنصر فى أعناق الأوراق كما يوصى به للحصول على أعلى محصول وأفضل نوعية للدرنات. كما أعطى هذا التركيز أعلى محصول من البطاطس، مقارنة بتركيز صفر، و٢٠، و٦٠ مجم P_2O_5 فى مياه الرى.

وتفيد عدوى نباتات البطاطس بفطريات الميكوريزا vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (مثل *Glomus intraradices*، و*G. dimorphicum*، و*G. mosseae*) .. تفيد فى تحسين امتصاص النباتات للفوسفور؛ سواء أكان مستوى العنصر فى التربة منخفضًا، أم جيدًا. كذلك أدت المعاملة إلى تحسين امتصاص النباتات لعناصر النيتروجين، والفوسفور، والمغنيسيوم، والحديد، والزنك فى النباتات النامية فى مستويات منخفضة من الفوسفور، مع زيادة معدلات نمو هذه النباتات (McArthur & Knowles ١٩٩٣).

وقد أدى التسميد بالبوتاسيوم بمعدل ٦٢٧,٢ كجم K_2O للهكتار (٢٦٠ كجم للفدان) إلى نقص التلون الإنزيمى وتركيز الفينولات فى الدرنات، مع زيادة محتواها من حامض الأسكوربيك، والدهون، والرطوبة، وكانت هذه التأثيرات – سواء أكانت بالنقص، أم بالزيادة – عندما استعمل سماد كلوريد البوتاسيوم أكثر وضوحًا مما كان عليه الحال عندما استعمل سماد كبريتات البوتاسيوم (Mondy & Munshi ١٩٩٣).

ويجب أن يزيد تركيز الفوسفور الذائب بأعناق الأوراق عن ١٠٠٠ جزء فى المليون (٠,٢٢٪ فوسفور كلى) حتى اكتمال النمو النباتى.

ويمكن تحويل تركيز الفوسفور الكلى (٪) بالأعناق إلى فوسفور ذائب (بالجزء فى المليون) بالمعادلة التالية:

الفوسفور الذائب (بالجزء فى المليون) = [٥٦٠٠ × (النسبة المئوية للفوسفور الكلى)^2] + [٣٦٢٠ × النسبة المئوية للفوسفور الكلى] – ١٠ (Lang وآخرون ١٩٩٩).

ويفيد التسميد بالكالسيوم حتى ٢٧٠ كجم CaO للهكتار (١١٢,٥ كجم للفدان) قبل الزراعة فى صورة كبريتات كالسيوم (جبس زراعى)، أو ٦٨ كجم CaO للهكتار (٢٨ كجم للفدان) أثناء النمو النباتى فى صورة نترات كالسيوم.. يفيد فى خفض معدلات إصابة الدرنات بالتبقع البنى الداخلى — وهو عيب فسيولوجى — وفى تحسين لون البطاطس المحمرة الناتجة منها (Clough ١٩٩٤).

وأدت إضافة كربيد الكالسيوم CaC_2 المكبسلة encapsulated بمعدل ٦٠ كجم للهكتار (٢٥ كجم/ فدان) إلى منطقة نمو جذور البطاطس عند الزراعة، ثم بعد أسبوعين من الزراعة إلى إحداث زيادة فى النمو الخضرى والوزن النباتى الكلى وعدد الدرنات وزيادة فى المحصول الكلى تراوحت بين ٤٠٪، و٥٠٪ (Abassi وآخرون ٢٠٠٩).

تنخفض حالات الإصابة بالبقع السوداء فى درنات البطاطس جوهريًّا بالمعاملة بالكالسيوم، كما تنخفض — كذلك — جوهريًّا أضرار الخدوش، ويعتقد بأن لذلك علاقة بدور الكالسيوم فى تحسين كفاءة الأغشية الخلوية وبنيان الجدر الخلوية، ولدوره فى تنظيم الاستجابات الفسيولوجية (Karlsson وآخرون ٢٠٠٦).

هذا .. ويتراكم الكالسيوم فى النموات الخضرية للبطاطس بدرجة أكبر عما يحدث فى الدرنات؛ ذلك لأن الكالسيوم الممتص ينتقل فى النبات مع الماء الذى يكون تحركه نحو الأجزاء النباتية التى تفقد الماء بالنتح، وخاصة الأوراق. ونظرًا لأن درنات البطاطس تكون محاطة بالتربة المشبعة بالرطوبة فإنها لا تفقد أى من مائها؛ ومن ثم لا يصلها سوى القليل من الكالسيوم الذى تحصل عليه مع الماء الذى يدخل فى تركيب أنسجتها. ولقد وجد أن المدادات الأرضية وأماكن اتصالها بالدرنات والدرنات ذاتها تحمل جذورًا ماصة دقيقة، هى التى تمد الدرنات بالكالسيوم والماء، بينما يمد المجموع الجذرى النموات الهوائية بالعنصر. وبذا.. فإن تركيز الكالسيوم بالدرنات يمكن زيادته بتغذية الدرنات بالكالسيوم خلال مرحلة ازديادها فى النمو والحجم أثناء موسم النمو، وذلك بتوفيره فى منطقة الدرنات والمدادات الأرضية. ولأن الدرنات وما يتصل بها من سيقان

أرضية هى المصدر الوحيد للكالسيوم الذى يصل للدرنات، فإن الدرنات قد تتباين فى محتواها من الكالسيوم حسبما يتوفر حولها من العنصر (Palta ٢٠١٠).

ولزيادة محتوى الدرنات من الكالسيوم (بهدف زيادة مقاومتها للإصابة بالعفن الطرى البكتيرى الذى تسببه البكتيريا *Erwinia carotovora* pv. *atroseptica*، ولتجنب ظهور أعراض العيب الفسيولوجى التبقع البنى الداخلى عليها)، يوصى بأن يكون التسميد بالكالسيوم فى أماكن وجود الدرنات والسيقان الأرضية — لكى يحدث الامتصاص من خلال الجذور الدقيقة التى توجد على الدرنات ذاتها وعند موضع اتصالها بالجذور الأرضية — وبذا.. يصل العنصر إليها مباشرة. كما يحسن أن يكون جل التسميد بالكالسيوم فى مراحل النمو السريع للدرنات فى أواخر مراحل النمو النباتى. ويفضل استعمال الأسمدة الذائبة وإضافتها مع ماء الرى بالتنقيط. ولتحقيق زيادة ملموسة فى تركيز الكالسيوم فى الدرنات يلزم التسميد بنحو ١٧٠ كجم كالسيوم للهكتار (حوالى ٧٠ كجم للفدان) مع مياه الرى بالتنقيط (عن Palta ١٩٩٦).

وتؤدى زيادة الكالسيوم فى التربة — وخاصة فى صورة كربونات كالسيوم — إلى ضعف تيسر البورون. ويمكن معالجة نقص البورون برش النموات الخضرية بالسُّليوبور Solubor (الذى يحتوى على ٢١٪ بورون) وليس بالبوراكس. وكإجراء وقائى — لتجنب ظهور أعراض نقص العنصر — يمكن إضافة البوراكس إلى التربة — مع الأسمدة الأخرى — بمعدل لا يزيد على ١٠ كجم للهكتار (٢,٤ كجم للفدان كحد أقصى)؛ وهو ما يعنى إضافة حوالى كيلو جرام واحد من البورون للهكتار، أو نحو ٢٤٠ جم من البورون للفدان.

كما وجد Mondy & Munshi (١٩٩٣) أن رش نباتات البطاطس بعد ١٠ أسابيع، و ١٣ أسبوعًا من الزراعة بالبوراكس بمعدل ٣,٣٦ كجم/ هكتار (١,٤ كجم/فدان) أدى إلى نقص التلون الإنزيمى بالدرنات، ونقص محتواها الفينولى، مع زيادة محتواها من حامض الأسكوربيك.

ويجب تجنب التسميد بأكثر من الكميات الموصى بها من البورون، وإلا ظهرت أعراض التسمم من البورون؛ الأمر الذى تزداد خطورته عند احتواء مياه الرى على أكثر من جزء واحد أو جزأين فى المليون من العنصر.

وبالنسبة للعناصر الدقيقة فإن التركيز المناسب للعناصر الدقيقة فى الثلاثين سنتيمترًا العلوية من التربة (بالـ DTPA extraction) يبلغ ٠,٥ جزءًا فى المليون من البورون، وجزء واحد فى المليون من الزنك، و٦- ٨ أجزاء فى المليون من المنجنيز، و٤ أجزاء فى المليون من الحديد، و٠,٢ جزء فى المليون من النحاس (Hopkins وآخرون ٢٠١٠).

هذا .. وقد كان الإنتاج العضوى للبطاطس منخفضًا عن الإنتاج التقليدى فى ثلاثة مواسم متتالية، حيث انخفض فيها محصول الدرنات بمقدار ٥٪، و٥٠٪، و٢٥٪ فى المواسم الثلاثة، على التوالى، وأُرجع ذلك إلى نقص تيسر النيتروجين وشدة الإصابة بالندوة المتأخرة (Ierna & Parisi ٢٠١٤).

برامج التسميد

التسميد فى الأراضى الثقيلة

تنصح وزارة الزراعة فى مصر بأن يكون تسميد البطاطس فى الأراضى الثقيلة على النحو التالى:

١- يضاف ٢٠- ٣٠ م٣ من السماد البلدى القديم المتحلل وقت تجهيز الأرض للزراعة.

٢- يضاف — كذلك مع الأسمدة البلدية — ٦٠-٧٥ وحدة فوسفور فى صورة سماد سوبر فوسفات الكالسيوم، أى حوالى ٤٠٠- ٦٠٠ كجم من السماد للفدان.

٣- تضاف حوالى ١٥٠- ١٨٠ وحدة نيتروجين على ثلاث دفعات متساوية؛ كما يلى:

هذه الصفحة غير موجودة من أصل المصدر

هذه الصفحة غير موجودة من أصل المصدر

على سطح التربة. ويكون الهدف الأساسى من إضافة الكبريت — بأى من الطريقتين — هو خفض pH التربة فى منطقة نمو الجذور وليس التسميد بالكبريت؛ نظرًا لأن النبات يحصل على حاجته من عنصر الكبريت من مختلف الأسمدة السلفاتية، ومن الجبس الزراعى، وبعض المبيدات.

ثانيًا: أسمدة عناصر أولية تضاف عن طريق التربة، أو مع ماء الرى بعد الزراعة

لا تُعطى حقول البطاطس أية أسمدة قبل إنبات التقاوى، ثم توالى البطاطس بعد الإنبات بالتسميد بالعناصر الأولية بمعدل حوالى ١٠٠ كجم نيتروجينًا (N)، و ١٥ كجم فوسفورًا (P_2O_5)، و١٠٠ كجم بوتاسيوم (K_2O) للفدان على النحو التالى:

١- تستخدم اليوريا وسلفات الأمونيوم (بنسبة ١ : ١ من النيتروجين المضاف) كمصدر للنيتروجين خلال الأسابيع الثلاثة الأولى بعد الإنبات، ثم تستخدم سلفات النشادر — منفردة — أو مع نترات الأمونيوم بعد ذلك. وتتوقف النسبة المستخدمة من النيتروجين النتراتى على درجة الحرارة السائدة؛ حيث تنتفى الحاجة إليه فى الجو الدافئ (لتحول الأمونيوم إلى نترات بسرعة فى هذه الظروف)، بينما تزيد الحاجة إليه (فى حدود ٢٥- ٥٠٪ من كمية النيتروجين الكلى المضافة) فى الجو البارد (Hochmuth ١٩٩٢).

هذا .. وتحصل نباتات البطاطس على كميات إضافية من النيتروجين تقدر بنحو ٢٠ كجم للفدان من حامض النيتريك الذى يستخدم فى إذابة الأملاح التى تسد النقاطات (بنسبة ٢ فى الألف كلما دعت الضرورة)، ولإذابة سلفات البوتاسيوم (كما سيأتى بيانه).

٢- يستخدم سوبر فوسفات الكالسيوم العادى، أو التربل سوبر فوسفات كمصدر للفوسفور فى حالة التسميد الأرضى، بينما يستخدم حامض الفوسفوريك فى حالة التسميد مع ماء الرى؛ حيث تقل فرصة تثبيت الفوسفور المضاف؛ لأن حامض الفوسفوريك يعمل على خفض pH ماء الرى؛ الأمر الذى يمنع ترسيب الفوسفور، حتى مع وجود الكالسيوم فى ماء الرى.

٣- تستخدم سلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم، ويلزم — فى حالة إضافتها مع ماء الرى — عمل عجينة من السماد مع حامض النيتريك بنسبة ٤ :١، وتركها يومًا كاملاً قبل إذابتها فى الماء، وأخذ الرائق للتسميد به.

كذلك يمكن استخدام أحد الأسمدة السائلة كمصدر للبوتاسيوم. وبالنظر إلى أن ما يوجد فى هذه الأسمدة من عنصر البوتاسيوم يكون جاهزًا لامتصاص النبات، ولا يفقد منه شيء؛ لذا .. يمكن — عند استخدامها — خفض كمية البوتاسيوم (K_2O) الموصى بها إلى النصف؛ فيستعمل منها ما يكفى لإضافة ٥٠ كجم K_2O للفدان مع ماء الرى، بالإضافة إلى الـ ٢٠ كجم الأخرى التى تضاف فى باطن الخط قبل الزراعة.

٤- توزيع كميات عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم المخصصة للمحصول على النحو التالى:

أ- يزداد معدل التسميد بالنيتروجين — تدريجيًا — إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد الإنبات بنحو ستة أسابيع، ثم تتناقص الكمية التى يسمد بها تدريجيًا إلى أن يتوقف التسميد نهائيًا قبل الحصاد بنحو أسبوعين.

ب- يزداد معدل التسميد بالفوسفور — سريعًا — بعد الإنبات، إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد نحو خمسة أسابيع من الإنبات، ثم تتناقص الكمية المضافة — تدريجيًا — إلى أن يتوقف التسميد بالفوسفور نهائيًا قبل الحصاد بنحو ثلاثة أسابيع.

ج- يزداد معدل التسميد بالبوتاسيوم — ببطء — إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد نحو ١٠- ١٢ أسبوعًا من الإنبات — حسب التبكير فى نضج الصنف المزروع — ثم تتناقص الكمية المضافة منه — تدريجيًا — إلى أن يتوقف التسميد بالبوتاسيوم تمامًا قبل الحصاد بنحو أسبوع واحد.

٥- تحسب الكمية اللازمة من جميع الأسمدة لكل أسبوع من موسم النمو — حسب مرحلة النمو النباتى — ثم تضاف بالكيفية التالية:

أ- فى حالة الرى السطحى

تخلط الأسمدة معًا، وتضاف على فترات أسبوعية — تكبيشًا — إلى جانب النباتات، وعلى مسافة ٧ سم من قاعدتها. ويمكن إضافة الأسمدة سرًّا إلى جانب النباتات عندما يكبر حجمها وتتشعب جذورها.

ب- فى حالة الرى بالرش

تخلط الأسمدة معًا. وتضاف نثرًا حول قاعدة النباتات على فترات أسبوعية. كذلك يمكن التسميد بالآزوت مع ماء الرى بالرش خلال النصف الثانى من حياة النبات، حينما تكون جذوره قد تشعبت فى الحقل إلى درجة تسمح بأكبر استفادة ممكنة من الأسمدة المضافة التى تتوزع مع ماء الرى فى كل الحقل. ويلزم فى هذه الحالة تشغيل جهاز الرى بالرش أولاً بدون سماد، لمدة تكفى لبلّ سطح التربة، وبل أوراق النبات، وإلا فقد السماد بتعمقه فى التربة مع ماء الرى. يلى ذلك إدخال السماد مع ماء الرى لمدة تكفى لتوزيعه بطريقة متجانسة فى الحقل، ويعقب ذلك الرى بالرش دون تسميد لمدة ١٠- ١٥ دقيقة بغرض غسل السماد من على الأوراق، وتحريكه فى التربة، والتخلص من آثاره فى جهاز الرى بالرش.

كذلك يمكن باتباع الطريقة السابقة ذاتها التسميد بكل من عنصرى الفوسفور والبوتاسيوم — بالإضافة إلى النيتروجين — وذلك باستعمال الأسمدة المركبة السائلة أو السريعة الذوبان، كما قد تستعمل الأسمدة التجارية المفردة بالطريقة الموضحة تحت موضع التسميد فى حالة الرى بالتنقيط.

ج- فى حالة الرى بالتنقيط

يتم التسميد مع ماء الرى بالتنقيط — عادة — ست مرات أسبوعيًّا، ويخصص اليوم السابع للرى بدون تسميد.. وتوزع الأسمدة المخصصة لكل أسبوع على أيام التسميد الستة بأحد النظم التالية:

(١) تخلط جميع الأسمدة المخصصة لليوم الواحد، ويسمد بها معًا، وهذا هو النظام المفضل.

(٢) يخصص يومان للتسميد الآزوتى، ثم يوم للتسميد الفوسفاتى والبوتاسى ... وهكذا.

(٣) تخصص ثلاثة أيام منفصلة للتسميد الآزوتى، والفوسفاتى، والبوتاسى، ثم تعاد الدورة... وهكذا.

ويمكن — فى حالة التسميد مع ماء الرى بالتنقيط — استبدال الأسمدة التقليدية بالأسمدة المركبة السائلة، أو السريعة الذوبان إذا كان استخدامها اقتصاديًّا، ويتوقف تحليل السماد المستخدم على مرحلة النمو النباتى؛ حيث يمكن استعمال سماد تحليله ١٩-٦-٦ لمدة أربعة أسابيع بعد الإنبات، يحل محله سماد تركيبه ٢٠-٥-١٥ إلى نهاية الأسبوع الثامن، ثم يحل محله سماد تركيبه ١٥-٥-٣٠ إلى ما قبل الحصاد بنحو أسبوعين.

يكون استخدام هذه الأسمدة بكميات تفى بحاجة النباتات من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم. وكما سبق أن أوضحنا.. فإن العناصر الغذائية فى تلك الأسمدة تكون جاهزة لأن تمتصها النباتات مباشرة، ولا يفقد منها شىء؛ لذا.. يمكن عند استخدامها خفض كمية عنصرى النيتروجين والبوتاسيوم الموصى بها إلى ٥٠ كجم N ، و٥٠ كجم K_2O للفدان. أما الفوسفور.. فتبقى الكمية الموصى بها بعد الزراعة — وهى ١٥ كجم P_2O_5 للفدان — كما هى؛ نظرًا لأن التسميد المنفرد بالفوسفور يكون بحامض الفوسفوريك الجاهز للامتصاص السريع على أية حال.

ويكفى — عادة — نحو ١,٥ كجم (أو ١,٥ لترًا) من تلك الأسمدة للفدان يوميًّا بعد إنبات التقاوى، ثم تزداد الكمية — تدريجيًّا — إلى أن تصل إلى نحو ٣- ٤ كجم يوميًّا فى منتصف موسم النمو، ثم تتناقص — تدريجيًّا — إلى أن تصل إلى ١,٥ كجم للفدان يوميًّا — مرة أخرى — قبيل انتهاء موسم الحصاد.

وكما فى حالة التسميد بالأسمدة التقليدية .. يلزم تخصيص يوم واحد أو يومين أسبوعيًّا للرى بدون تسميد؛ بهدف خفض تركيز الأملاح فى منطقة نمو الجذور.

هذا .. ويتعين عدم التسميد — مع ماء الرى — بالأسمدة التى تحتوى على أيونى الفوسفات (مثل حامض الفوسفوريك)، أو الكبريتات (مثل: سلفات الأمونيوم وسلفات البوتاسيوم) عند احتواء ماء الرى على تركيزات عالية من الكالسيوم؛ لكى لا يترسبا بتفاعلهما مع الكالسيوم.

ثالثا: أسمدة عناصر كبرى أخرى تضاف بعد الزراعة

إن أهم العناصر الكبرى الأخرى — بخلاف عناصر: النيتروجين، والفوسفور والبوتاسيوم — هى عناصر: الكبريت، والمغنيسيوم، والكالسيوم.

يحصل النبات على حاجته من عنصر الكبريت — بصفة أساسية — من كبريتات الأمونيوم وكبريتات البوتاسيوم، وسوبر فوسفات الكالسيوم، والجبس الزراعى (الذى قد يستخدم لإصلاح الأراضى الشديدة القلوية — مع الغمر — كل سنتين)، والكبريت الزراعى (الذى قد يستعمل بغرض خفض pH التربة)، بالإضافة إلى ما يوجد من كبريت بالأسمدة الورقية، وبعض المبيدات. ولا توجد حاجة إلى أية إضافات أخرى من هذا العنصر.

كذلك يحصل النبات على حاجته من المغنيسيوم من سلفات المغنيسيوم التى تضاف قبل الزراعة، بالإضافة إلى ما يتوفر من العنصر فى الأسمدة المركبة؛ سواء تلك التى تستخدم فى مد النبات بحاجته من العناصر الأولية (النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم)، أم الأسمدة الورقية؛ لذا .. لا يحتاج الأمر إلى مزيد من التسميد بالمغنيسيوم، إلاّ إذا ظهرت أعراض نقص العنصر؛ حيث يسمد — حينئذ — بكبريتات المغنيسيوم بمعدل ٥ كجم للفدان؛ إما رشًا، وإما مع ماء الرى بالتنقيط، مع تكرار المعاملة أسبوعيًّا إلى أن تختفى أعراض نقص العنصر.

أما الكالسيوم .. فيحصل النبات على معظم حاجته منه من سوبر فوسفات الكالسيوم ومن الجبس الزراعى الذى قد تعامل به التربة، بالإضافة إلى ما قد يتوفر من العنصر فى الأسمدة المركبة بنوعيها. ويراعى — دائمًا — عدم إضافة الأسمدة المحتوية على الكالسيوم — إلى ماء الرى — مع الأسمدة التى تحتوى على أيونى الفوسفات، أو الكبريتات؛ لكى لا يترسبا بتفاعلهما مع الكالسيوم.

وإذا دعت الحاجة إلى التسميد بالكالسيوم، فإنه يمكن استعمال سماد نترات الكالسيوم الجيرى (عبود). يحتوى هذا السماد على عنصر النيتروجين — على صورة نترات — بالإضافة إلى الكالسيوم، كما أنه يخلف شوائب عند محاولة إذابته؛ لذا .. يجب خصم كمية النيتروجين المضافة — عند استعمال هذا السماد كمصدر للكالسيوم — من كمية النيتروجين الكلية التى يُرغب فى إضافتها، مع استعمال رائق السماد فقط فى التسميد.

رابعًا: أسمدة العناصر الصغرى

تستجيب البطاطس — كغيرها من محاصيل الخضر — إلى التسميد بالعناصر الصغرى: (الحديد، والزنك، والمنجنيز، والنحاس)، ولكنها تتعرض للتثبيت إذا كانت إضافتها عن طريق التربة، أو مع ماء الرى؛ لأن هذه العناصر تثبت فى الأراضى القلوية، فى حين أن جميع الأراضى الصحراوية قلوية؛ لذا لا تفضل إضافة هذه العناصر عن طريق التربة إلا فى صورة مخلبية.

ويمكن إضافة ملح الكبريتات لهذه العناصر بطريقة الرش بمعدل ١– ١,٥ كجم مع ٤٠٠ لتر ماء للفدان. وإذا استخدمت الصورة المخلبية لهذه العناصر رشًا على الأوراق .. فإنها تستعمل بمعدل ٠,٢٥– ٠,٥٠ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

أما عنصر البورون .. فإنه يضاف دائمًا فى صورة معدنية على صورة بوراكس؛ إما عن طريق التربة بمعدل ٥– ١٠ كجم للفدان، وإما رشًا على الأوراق بمعدل ١– ٢ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

ويمكن استبدال الأسمدة المفردة — التى سبق ذكرها — بالأسمدة المركبة وهى كثيرة جدًا. تعطى أربع رشات من هذه الأسمدة؛ تكون أولاها بعد إنبات التقاوى بنحو ثلاثة أسابيع ثم كل ثلاثة أسابيع بعد ذلك.

وعمومًا .. يُفيد رش الأوراق بأى من العناصر الدقيقة فى التغلب على أعراض نقصها، علمًا بأنها تنتقل بيسر وسهولة من الأوراق إلى الدرنات باستثناء البورون الذى يكون بطيئًا فى الانتقال. وتستعمل أملاح الكبريتات أو الصورة المخلبية لكل من عناصر المنجنيز والزنك والحديد، وقد تلزم عدة رشات من الحديد. أما البورون فقد يكون الرش ببورات الصوديوم أو السوليبور solubor أو حامض البوريك. وبالمقارنة فإن النحاس —

الذى قد يُستعمل فى صورة ملح الكبريتات أو الصورة المخلبية — يتوفر — عادة — فى عديد من المبيدات الفطرية (Hopkins وآخرون ٢٠١٠).

مراجع إضافية فى تسميد البطاطس

لمزيد من التفاصيل عن تسميد البطاطس .. يُراجع Lang وآخرين (١٩٩٩)، وHopkins وآخرين (٢٠١٠)، كما يُراجع Palta (٢٠١٠) بخصوص التسميد بالكالسيوم.

البطاطا

ترتبط زراعة البطاطا غالبًا بالأراضى الفقيرة، وهى تتشابه فى هذا الأمر مع الكاسافا، ويرجع ذلك إلى نجاح زراعتها فى الأراضى الرملية غير الخصبة، وإلى نقص محصولها أحيانًا فى الأراضى الثقيلة العالية الخصوبة. وعلى الرغم من ذلك فإن المحصول الجيد للبطاطا لا يتأتى إلا تحت ظروف التسميد الجيد والمتوازن، حيث ترتفع كثيرًا احتياجات المحصول من البوتاسيوم.

لا تعد البطاطا من المحاصيل المجهدة للتربة، كما أنه لا يناسبها التسميد الغزير؛ فكثرة الأسمدة العضوية تساعد على انتشار الأمراض. وتؤدى زيادة التسميد الآزوتى إلى زيادة النمو الخضرى على حساب النمو الجذرى، وتكوين جذور طويلة، ورفيعة، ومضلعة، وذات لون داخلى باهت. وتؤدى زيادة التسميد بكلوريد البوتاسيوم إلى نقص نسبة المادة الجافة بالجذور. والتأثير هنا مرده إلى أيون الكلور، ولكن التسميد المعقول ضرورى لإنتاج محصول جيد من البطاطا. وللبوتاسيوم أهمية خاصة فى تكوين جذور قصيرة وممتلئة، والبورون ضرورى لمنع تكون تعرقات قاتمة اللون Dark Streaks فى مركز الجذور، وهى التى تعد عيبًا فسيولوجيًّا. والتسميد الآزوتى ضرورى لتكوين نمو خضرى جيد، قبل أن تبدأ الجذور فى الزيادة فى الحجم. وقد وجد Constantin وآخرون (١٩٧٤) أن زيادة كمية السماد الآزوتى تؤدى إلى زيادة نسبة البروتين فى الجذور، بينما لم يكن لها أى تأثير على نسبة الألياف.

تعرف الحاجة إلى التسميد من تحليل النبات

يمكن التعرف على مدى حاجة النباتات إلى التسميد بتحليل النبات فى منتصف موسم النمو، ويستخدم فى التحليل عنق الورقة السادسة من القمة النامية للنبات. ويدل وجود

النيتروجين (على صورة NO_3) بتركيز ١٥٠٠ جزء فى المليون، والفوسفور (على صورة PO_4) بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون، والبوتاسيوم بتركيز ٣٪ على أن النباتات تعانى من نقص هذه العناصر حتى وإن لم تظهر عليها الأعراض. وتستجيب النباتات للتسميد بها ما دام تركيزها فى النبات يكون أقل من ٣٥٠٠ جزء فى المليون، و ٢٠٠٠ جزء فى المليون، و٥٪ للعناصر الثلاثة على التوالى، وهى مستويات الكفاية فى هذه المرحلة من النمو.

وتظهر أعراض نقص العناصر المختلفة على النموات الخضرية للبطاطا عندما ينخفض محتوى أنسجتها — على أساس الوزن الجاف — عن ١٢,٠٪ P، و٠,٧٥٪ K، و٠,١٦٪ Mg، و٠,٢٪ Ca، و٠,٠٨٪ S، و١٨– ٢٥ جزءًا فى المليون من المنجنيز Mn.

ويبين جدول (٧–٩) مزيدًا من التفاصيل حول تحليل العناصر بأوراق البطاطا.

جدول (٧–٩): تحليل العناصر بأوراق البطاطا (على أساس الوزن الجاف) قبل بدء زيادة الجداور فى الحجم مباشرة (Olson وآخرون ٢٠١١).

العنصر	حالة نقص	مدى الكفاية	حالة زيادة
(نسبة مئوية)			
النيتروجين	> ٣,٠	٣,٠– ٤,٠	< ٤,٠
الفوسفور	> ٠,٢	٠,٢– ٠,٣	< ٠,٣
البوتاسيوم	> ٢,٠	٢,٠– ٤,٠	< ٤,٠
الكالسيوم	> ٠,٥	٠,٥– ١,٨	< ١,٨
المغنيسيوم	> ٠,٢٥	٠,٢٥– ٠,٥	< ٠,٥
الكبريت	> ٠,٢	٠,٢– ٠,٤	< ٠,٤
(جزء فى المليون)			
الحديد	> ٤٠	٤٠– ١٠٠	< ١٠٠
المنجنيز	> ٤٠	٤٠– ١٠٠	< ١٠٠
الزنك	> ٢٥	٢٥– ٤٠	< ٤٠
البورون	> ٢٥	٢٥– ٤٠	< ٤٠
النحاس	> ٥	٥– ١٠	< ١٠

أعراض نقص العناصر

١- النيتروجين:

يؤدى نقص النيتروجين إلى تقزم النبات وبهتان لونه الأخضر تدريجيًّا إلى أن تصبح الأوراق صفراء اللون بصورة متجانسة.

٢- الفوسفور:

تظهر أعراض نقص الفوسفور على صورة تلون أخضر قاتم بالأوراق الحديثة غير المكتملة التكوين بينما تصبح الأوراق المسنة مصفرة. وقد يظهر على جانبها السفلى تلون قرمزى.

٣- البوتاسيوم:

يتميز نقص البوتاسيوم باصفرار الأوراق مع تلون حوافها باللون البنى، ثم جفاف الأنسجة البنية، وظهور بقع صغيرة متحللة على السطح السفلى للأوراق. وتكون الجذور الدرنية للنباتات التى تعانى من نقص البوتاسيوم رفيعة.

٤- الكالسيوم:

يؤدى نقص الكالسيوم إلى بهتان لون الأوراق الحديثة وتقزم النباتات.

٥- المغنيسيوم:

يؤدى نقص المغنيسيوم إلى توقف النمو القمى للسيقان وقصر السلاميات واصفرار الأوراق السفلى وموتها المبكر، مع عدم انتظام نمو الجذور وخشونتها وزيادة سمك قشرتها، وظهور قروح سطحية نشطة فى إنتاج إفرازات بنية اللون على السطح، ومساحات أخرى فلينية بنية اللون باللب الداخلى (عن Onwuene ١٩٧٨).

٦- الحديد والمنجنيز:

يؤدى نقص الحديد والمنجنيز إلى اصفرار ما بين العروق فى الأوراق الحديثة.

الاحتياجات السمادية

تباينت تقديرات كميات العناصر الأولية التى تمتصها نباتات البطاطا باختلاف الدراسات، كما يلى:

- ذُكر أن نباتات البطاطا تمتص نحو ٧٠ كجم نيتروجينًا، و١٠ كجم فوسفورًا، و١٠٠ كجم بوتاسيوم لكل فدان، ويصل إلى الجذور نحو ٥٧٪ و٨٠٪، و٨٠٪ من الكمية الممتصة من العناصر الثلاثة، على التوالى.
- قُدرت الكميات التى امتصتها نباتات البطاطا التى بلغ محصولها الخضرى ٣٠ طنًا للهكتار (١٢,٦ طنًا للفدان) ومحصولها الجذرى ٢٢ طنًا للهكتار (٩,٢ أطنان للفدان) بنحو ٨٠ كجم من النيتروجين، و٢٩ كجم من الفوسفور، و١٨٥ كجم من البوتاسيوم للهكتار (٣٣,٦، و١٢,٢، و٧٧,٧ كم من العناصر الثلاثة — على التوالى — للفدان).

توزعت الكميات التى امتصتها نباتات البطاطا من العناصر الرئيسية على الجذور والنموات الخضرية، كما يلى (بالكيلوجرام/ هكتار) (عن Rubatzky & Yamaguchi ١٩٩٩).

العنصر	الجذور	النموات الخضرية	المجموع
النيتروجين	٤٧	٥٢	٩٩
الفوسفور	١٩	٨	٢٧
البوتاسيوم	١٧٩	١٠١	٢٨٠
الكالسيوم	١١	٤٦	٥٧
المغنيسيوم	٩	٩	١٨

هذا .. وتؤدى غزارة التسميد الآزوتى إلى تثبيط نشاط نسيج الكامبيوم، وزيادة لجننة أنسجة الجذور؛ مما يمنع تكوين الجذور الخازنة، هذا فى الوقت الذى تحفز فيه زيادة النيتروجين النمو الخضرى؛ مما يؤدى إلى توجيه الغذاء المجهز إلى تكوين نموات خضرية جديدة بدلاً من توجهه نحو الجذور.

وقد تبين أن أصناف البطاطا التى تعطى محصولاً عاليًا فى المستويات العالية من التسميد الآزوتى تكون فيها المساحة الورقية/نبات أقل مما فى الأصناف المتأقلمة على مستويات النيتروجين المنخفضة (عن Villagarcia وآخرين ١٩٩٨).

هذا .. وعند خفض معدل التسميد الآزوتى فإن الآزوت يصبح محددًا للنمو الخضرى قبل تأثيره على معدل البناء الضوئى، كما يكون تأثيره أقوى على النمو الخضرى عن تأثيره على معدل البناء الضوئى؛ مما يزيد من قدره الجذور على استقبال الغذاء المجهز فى المستويات المنخفضة من النيتروجين (Villagarcia وآخرون ١٩٩٨).

وإلى جانب عدم الافراط فى التسميد الآزوتى للبطاطا لأنه يؤدى إلى زيادة النمو الخضرى على حساب تكوين الجذور، والتى تكون عميقة التضليع، فإنه يتعين عدم تسميد البطاطا بالأسمدة البلدية غير تامة التحلل لأنها تجعل الجذور أكثر قابلية للإصابة بالقشف scurf.

ولكل من العناصر الأولية أهميته الخاصة، كما يلى:

- يعد البوتاسيوم هامًا لتكوين الجذور الخازنة الكبيرة لأن زيادة تركيز العنصر فى الأوراق عن ٤٪ يحفز انتقال الغذاء المجهز من الأوراق إلى الجذور، علمًا بأن زيادة تركيز الغذاء المجهز بالأوراق يعد مثبطًا لعملية البناء الضوئى.

- تؤدى زيادة توفر النيتروجين للنبات إلى تحفيز النمو الخضرى، مما يخفض من تركيز البوتاسيوم بالأوراق. ويفسر ذلك سبب ارتفاع محصول البطاطا عند انخفاض نسبة السماد الآزوتى إلى البوتاسى. والنسبة الموصى بها هى < ١ : ٣ إلاّ أن النسبة المثلى تتوقف على نسبة الكربون إلى النيتروجين ونسبة النيتروجين إلى البوتاسيوم فى التربة (عن Norman وآخرين ١٩٩٥).

- نادرًا ما تستجيب البطاطا للتسميد بالفوسفور، ويرجع ذلك إلى أنها — مثل الكاسافا واليام — جيدة التأقلم على انخفاض مستوى الفوسفور فى التربة، وتعد قادرة على إعطاء ٧٥٪ من أقصى محصول لها فى ظروف ينخفض فيها مستوى الفوسفور فى

المحلول الأرضى إلى ٠,١ ميكرومول فوسفور/لتر (عن Norman وآخرين ١٩٩٥).

• وترتبط جذور البطاطا أحيانًا بالميكوريزا *Glomus fasciculatum*؛ مما يسمح لها بالحصول على احتياجاتها من الفوسفور فى الأراضى الفقيرة فى العنصر.

أما عن الاحتياجات السمادية الفعلية .. فإنه يمكن الاسترشاد فى تقديرها، بما يلى:

• قدرت احتياجات البطاطا السمادية فى بعض الولايات الأمريكية بنحو ٣٢- ٤٠ كجم نيتروجين، و٦٠- ١٠٠ كجم P_2O_5، و٩٠ – ١٥٠ كجم K_2O (Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

• يمكن استعمال سماد مركب تحليله ٦-٩-١٥ بمعدل ٥٦٠- ١١٢٠ كجم للهكتار (حوالى ٢٣٥- ٤٧٠ كجم/فدان). ويمكن – كبديل لذلك – استعمال الأسمدة البسيطة بمعدل ٣٤- ٤٥ كجم N للهكتار (١٤- ١٩ كجم N/فدان)، و٥٠- ١٠٠ كجم P_2O_5 للهكتار (حوالى ٢١- ٤٢ كجم P_2O_5/فدان)، و٨٤- ١٦٩ كجم K_2O للهكتار (حوالى ٣٥- ٧١ كجم K_2O/فدان). ويفضل استعمال نترات الأمونيوم كمصدر للنيتروجين، مع مراعاة الحذر التام من الإفراط فى التسميد الآزوتى لكى لا يتأخر تكوين الدرنات ويزداد النمو الخضرى على حساب النمو الجذرى (عن Onwueme ١٩٧٨).

برنامج التسميد

يوصى بتسميد البطاطا فى الأراضى السوداء المتوسطة الخصوبة بنحو ٢٠ م^3 من السماد العضوى القديم المتحلل تضاف أثناء إعداد الحقل للزراعة، ويضاف معها ٤٥ كجم P_2O_5 (حوالى ٣٠٠ كجم سوبر فوسفات عادى) للفدان. أما بعد الزراعة فيتم التسميد بحوالى ٣٠ كجم N، و١٠٠ كجم K_2O للفدان تضاف على ثلاث دفعات، كما يلى: تكون الدفعة الأولى بعد حوالى شهر من الزراعة ويضاف فيها حوالى ١٥ كجم N (يستخدم لذلك سماد سلفات النشادر)، و٢٥ كجم K_2O (حوالى ٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم)، وتكون الدفعة الثانية بعد نحو شهر من الدفعة الأولى ويضاف فيها حوالى

هذه الصفحة غير موجودة من أصل المصدر

هذه الصفحة غير موجودة من أصل المصدر

العنصر	مستوى النقص	مستوى الكفاية
النيتروجين النتراتى (جزء فى المليون)	٥٠٠٠	٧٥٠٠
الفوسفور PO_4 (جزء فى المليون)	٢٠٠٠	٣٠٠٠
البوتاسيوم K (٪)	٤	٦

كما يبلغ مستوى الكفاية من مختلف العناصر فى المادة الجافة لأوراق الجزر بعد ٦٠ يومًا من الزراعة وعند الحصاد، كما يلى (عن Rubatzky وآخرين ١٩٩٩).

العنصر	بعد ٦٠ يومًا من الزراعة	عند الحصاد
النيتروجين (٪)	١,٨- ٢,٥	١,٥- ٢,٥
الفوسفور (٪)	٠,٢- ٠,٤	٠,١٨- ٠,٤
البوتاسيوم (٪)	٢,٠- ٤,٠	١,٤- ٠,٤
الكالسيوم (٪)	٢,٠- ٣,٥	١,٠- ١,٥
المغنيسيوم (٪)	٠,٢- ٠,٥	٠,٤- ٠,٥
الحديد (جزء فى المليون)	٣٠- ٦٠	٢٠- ٣٠
المنجنيز (جزء فى المليون)	٣٠- ٦٠	٣٠- ٦٠
الزنك (جزء فى المليون)	٢٠- ٦٠	٢٠- ٦٠
البورون (جزء فى المليون)	٢٠- ٤٠	٢٠- ٤٠
النحاس (جزء فى المليون)	٤- ١٠	٤- ١٠

الاحتياجات السمادية

تمتص نباتات الفدان الواحد من الجزر حوالى ٧٠ كجم نيتروجينًا، و١٢ كجم فوسفورًا، و١٧٠ كجم بوتاسيوم. ورغم أنه لا يصل إلى الجذور سوى ٤٠، و١٠، و١٠٠ كجم من العناصر الثلاثة، على التوالى .. إلاّ أن الكمية الممتصة كلها تُزال نهائيًا من الحقل؛ نظرًا لأن الجزر يحصد بعروشه (أى بنمواته الخضرية).

وتتراوح احتياجات الفدان السمادية من الجزر (فى الولايات المتحدة الأمريكية) من ١٥- ٨٥ كجم نيتروجينًا، و٣٠- ٧٥ كجم P_2O_5، و٢٠- ١٠٠ كجم K_2O.

وقد تراوحت كمية النيتروجين المثلى التى لزمت لتسميد الجزر فى تربة رملية (فى ولاية فلوريدا الأمريكية) بين ١٥٠، و١٨٠ كجم N للهكتار (٦٣- ٧٦ كجم N للفدان) حسب موعد الزراعة، حيث أعطت أعلى محصول وأفضل نوعية من الجذور (Hochmuth وآخرون ١٩٩٩).

ولا تجوز إضافة الأسمدة العضوية الطازجة قبل الزراعة مباشرة؛ لأن ذلك يؤدى إلى زيادة نسبة الجذور المتفرعة. ويرجع ذلك إلى التركيز المرتفع لحامض اليوريك بهذه الأسمدة. ويفضل إما إضافة السماد العضوى إلى المحصول السابق للجزر فى الدورة، وإما استعمال سماد قديم تام التحلل.

برنامج التسميد

أولاً: فى الأراضى السوداء

يسمد الجزر فى الأراضى السوداء بنحو ١٥ م^3 من السماد البلدى القديم التام التحلل، ويضاف معه ٢٥٠ كجم سوبر فوسفات كالسيوم أحادى (حوالى ٤٠ وحدة P_2O_5)، و٥٠ كجم سلفات نشادر (١٠ كجم N)، و٢٥ كجم سلفات بوتاسيوم (١٢ وحدة K_2O) وتضاف باقى الأسمدة الكيميائية بعد الزراعة، بواقع ١٠٠ كجم نترات نشادر (٣٣,٥ كجم N)، و٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم (٢٥ كجم K_2O) بعد نحو أربعة أسابيع من الزراعة، ثم ٥٠ كجم نترات نشادر (حوالى ١٦,٥ كجم N)، و٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم (٢٥ كجم K_2O) بعد ثلاثة أسابيع أخرى. وبذا.. يكون إجمالى كمية العناصر السمادية المستعملة: ٦٠ كجم N، و٤٠ كجم P_2O_5، و٦٢ كجم K_2O للفدان.

ثانيًا: فى الأراضى الرملية

يسمد الجزر فى الأراضى الرملية التى تروى بالرش على النحو التالى:

يضاف قبل الزراعة ١٥م^3 سمادًا بلديًا، و٥م٣ زرق دواجن، و٢٠ كجم N (١٠٠ كجم سلفات نشادر)، و٤٥ كجم P_2O_5 (حوالى ٣٠٠ كجم سوبر فوسفات عادى)، و٢٥ كجم K_2O (٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم)، و٥ كجم MgO (٥٠كجم سلفات مغنيسيوم) للفدان. تكون إضافة هذه الأسمدة نثرًا، مع خلطها جيدًا بالطبقة السطحية من التربة قبل الزراعة.

أما بعد الزراعة فتسمد حقول الجزر بنحو ٦٠ كجم N (يفضل أن يكون ٥٠٪-٧٥٪ منه نيتراتيًا)، و٥٠ كجم K_2O (يمكن استعمال سلفات البوتاسيوم)، مع إضافة تلك الكميات في جرعات أسبوعية (مع مياه الرى ٣-٤ مرات أسبوعيًا) على امتداد موسم النمو (بداية من بعد اكتمال الإنبات بأسبوعين وحتى قبل الحصاد بأسبوعين)، وعلى أن تكون أعلى معدلات للتسميد بكل من الآزوت والبوتاسيوم بعد ٦، و١٠ أسابيع من الإنبات، على التوالى.

هذا .. ويحتاج الأمر إلى ٢-٣ رشات بالأسمدة الورقية التى تحتوى على العناصر الدقيقة، ويكون ذلك بعد حوالى ٣، و٦، و٩ أسابيع من إنبات البذور.

اللفت

يكون برنامج تسميد اللفت، كما يلى:

أولاً: فى حالة الرى بالغمر

فى حالة إجراء الرى سطحيًا بطريقة الغمر فإن اللفت يسمد بنحو ١٥م^3 من السماد العضوى للفدان، يضاف أثناء تجهيز الأرض قبل الزراعة، ويخلط معها حوالى ١٥ كجم N (حوالى ١٥٠ كجم سلفات نشادر)، و٣٠ كجم P_2O_5 (حوالى ٢٠٠ كجم سوبر فوسفات عادى)، و١٥ كجم K_2O (حوالى ٣٠ كجم سلفات بوتاسيوم)، و٥ كجم MgO (٥٠ كجم سلفات مغنيسيوم)، و١,٥ كجم بورون (١٥ كجم بوراكس) للفدان. تكون إضافة هذه الأسمدة نثرًا مع خلطها جيدًا بالطبقة السطحية من التربة.

ويستكمل برنامج التسميد أثناء النمو النباتى على النحو التالى:

١- بعد إنبات البذور بحوالى ٣ أسابيع يضاف ٣٠ كجم N (حوالى ١٠٠ كجم نترات نشادر)، و١٥ كجم K_2O (حوالى ٣٠ كجم سلفات بوتاسيوم) للفدان.

٢- بعد ذلك بنحو أسبوعين يضاف ١٥ كجم N (حوالى ٥٠ كجم نترات نشادر)، و٣٠ كجم K_2O (حوالى ٦٠ كجم سلفات بوتاسيوم) للفدان.

وتضاف تلك الأسمدة نثرًا أو سرًا إلى جانب النباتات مع التغطية عليها بالتربة، وذلك حسب طريقة الزراعة المتبعة.

ثانيًا: فى حالة الرى بالرش

يتبع فى حالة الرى بالرش برنامج التسميد ذاته الموصى به فى حالة الرى بالغمر، ولكن مع مراعاة زيادة كميات الأسمدة التى تضاف أثناء النمو النباتى بنسبة حوالى ٢٥٪، وتجزئتها بحيث توزع على امتداد موسم النمو بداية من الأسبوع الثانى بعد الإنبات حتى قبل الحصاد بأسبوع بالنسبة للبوتاسيوم، وأسبوعين بالنسبة للنيتروجين، ومع مراعاة أن تكون أعلى معدلات للتسميد هى بعد الإنبات بأربعة أسابيع وستة أسابيع بالنسبة للنيتروجين والبوتاسيوم على التوالى. ويلزم إعطاء الحقل رشة واحدة على الأقل بأسمدة العناصر الدقيقة بعد حوالى ٤ أسابيع من الإنبات.

البنجـر

يتطلب إنتاج محصول مرتفع ذى نوعية جيدة من الجذور أن يكون النمو النباتى منتظمًا وسريعًا، ويستلزم ذلك العناية بتوفير العناصر الغذائية اللازمة للنباتات، فيعتبر البنجر من الخضر التى تستجيب جيدًا للتسميد الآزوتى، وللتسميد بأملاح المنجنيز. كما أنه يتطلب ويتحمل تركيزات عالية نسبيًا من عنصرى: البورون، والصوديوم، ويفيد معه التسميد العضوى، خاصة فى الأراضى الرملية والثقيلة، حيث يعمل الدبال على توفير العناصر الغذائية، وجعل التربة الرملية أكثر قدرة على الاحتفاظ بالرطوبة، والتربة الثقيلة أكثر تفككًا. ونظرًا لما تسببه الأسمدة العضوية من مشاكل كثيرة بالنسبة للحشائش.. لذا فلابد وأن تكون تامة التحلل، أو أن تضاف إلى المحصول الذى يسبق البنجر فى الدورة.

أهمية العناصر السمادية واحتياجات النباتات منها

١- النيتروجين:

يوصى بتسميد البنجر بحوالى ٧٥- ١٠٠ كجم من النيتروجين للفدان حسب مدى خصوبة التربة. ويعد النيتروجين ضروريًا لإنتاج نمو خضرى قوى، يلزم لزيادة كفاءة الحصاد الآلى، حيث تمسك آلة الحصاد بالنباتات من نمواتها الخضرية.

٢- الفوسفور:

يعد الفوسفور ضروريًّا لزيادة قوة البادرات، ومن ثم حمايتها من الإصابة بالذبول الطرى.

٣- البوتاسيوم:

يؤدى نقص البوتاسيوم إلى إنتاج جذور رفيعة لا يزيد سمكها عن الجذر الوتدى العادى إلاّ قليلاً.

وقد أدت إضافة كلوريد البوتاسيوم — مع توفر الفوسفور بالقدر الكافى — إلى استمرار زيادة محصول بنجر المائدة من الجذور، حتى مع توفر مستويات عالية جدًّا من البوتاسيوم الميسر فى التربة.

هذا .. ويمكن أن يحل الصوديوم — بنسبة عالية — محل البوتاسيوم.

٤- البورون:

إن من أهم أعراض نقص البورون ظهور الحالة الفسيولوجية التى تعرف بالتبقع الأسود الداخلى.

ومن أهم الأعراض الأخرى لنقص العنصر ظهور تحلل شبكى فى السطح الداخلى المقعر لأعناق الأوراق، وفشل الأوراق غير المتكشفة فى التكشف الطبيعى، وتحللها وموتها عادة، واكتساب الأوراق النامية مظهرًا شريطيًّا، ولونًا أحمر قاتمًا. وقد تنمو البراعم الساكنة التى توجد فى آباط الأوراق المسنة؛ مما يعطى البنجر مظهرًا متوردًا (Walker ١٩٦٩، و Halbrooks& Peterson ١٩٨٦).

برنامج التسميد

يختلف برنامج تسميد البنجر باختلاف طريقة الرى المتبعة، كما يلى:

أولاً: فى حالة الرى بالغمر

فى حالة إجراء الرى سطحيًّا بطريقة الغمر فإن البنجر يسمد بنحو ١٥م^{3} من السماد العضوى للفدان، يضاف أثناء تجهيز الأرض قبل الزراعة، ويخلط معه حوالى

١٥٠ كجم N (حوالى ١٥٠ كجم سلفات نشادر)، و٣٠ كجم P_2O_5 (حوالى ٢٠٠ كجم سوبر فوسفات عادى)، و ١٥كجم K_2O (حوالى ٣٠ كجم سلفات بوتاسيوم)، و٥ كجم MgO (٥٠ كجم سلفات مغنيسيوم)، و١,٥ كجم بورون (١٥ كجم بوراكس) للفدان. تكون إضافة هذه الأسمدة نثرًا مع خلطها جيدًا بالطبقة السطحية من التربة.

ويستكمل برنامج التسميد أثناء النمو النباتى على النحو التالى:

١- بعد إنبات البذور بحوالى ٣ أسابيع يضاف ٣٥ كجم N (حوالى ١٠٠ كجم نترات نشادر)، و٢٠ كجم K_2O (حوالى ٤٠ كجم سلفات بوتاسيوم) للفدان.

٢- بعد ذلك بنحو أسبوعين يضاف ٢٠ كجم N (حوالى ٧٥ كجم نترات نشادر)، و٤٠ كجم K_2O (حوالى ٨٠ كجم سلفات بوتاسيوم) للفدان.

وتضاف تلك الأسمدة نثرًا أو سرًا إلى جانب النباتات مع التغطية عليها بالتربة، وذلك حسب طريقة الزراعة المتبعة.

ثانيًا: فى حالة الرى بالرش

يتبع فى حالة الرى بالرش برنامج التسميد ذاته الموصى به فى حالة الرى بالغمر، ولكن مع مراعاة زيادة كميات الأسمدة التى تضاف أثناء النمو النباتى بنسبة ٢٥٪ وتجزئتها بحيث توزع على امتداد موسم النمو بداية من الأسبوع الثانى بعد الإنبات حتى قبل الحصاد بأسبوع بالنسبة للبوتاسيوم، وأسبوعين بالنسبة للنيتروجين، ومع مراعاة أن تكون أعلى معدلات للتسميد هى بعد الإنبات بخمسة أسابيع وسبعة أسابيع بالنسبة للنيتروجين والبوتاسيوم على التوالى.

ويلزم فى حالتى الرى بالغمر أو بالرش — إعطاء الحقل رشتان بأسمدة العناصر الدقيقة بعد حوالى ٣، و٧ أسابيع من الإنبات.

ويتعين إعطاء عناية خاصة للتسميد بالبورون على النحو التالى:

١- إضافة ١,٥- ٢,٥ كجم بورون إلى التربة — نثرًا — أثناء إعداد الحقل للزراعة كما أسلفنا، ويكفى ذلك القدر إن لم تكن هناك مشاكل تتعلق بعدم تيسر البورون للنباتات.

٢- رش النباتات مرتين إلى ثلاث مرات بالبورون بمعدل ٠,٥ كجم بورون فى ١٠٠- ٤٠٠ لتر ماء للفدان عند بداية انتفاخ الجذور، وعندما يبلغ قطرها ٣,٥- ٥ سم، ثم بعد ١٠- ١٤ يومًا أخرى.

أهمية الصوديوم للنبات

بداية .. لا يعد الصوديوم عنصرًا ضروريًا للبنجر، ولكن النباتات تستفيد من تواجده، وخاصة عند نقص البوتاسيوم. وقد أظهرت دراسات عديدة التأثير المحفز للصوديوم على نمو نباتات البنجر ومحصول الجذور، ويستثنى من ذلك التأثير السلبى للملوحة على إنبات البذور ونمو البادرات الصغيرة، فقد انخفضت نسبة إنبات بذور بنجر المائدة من حوالى ٩٠٪ فى الكنترول إلى ٦١٪ عند زيادة تركيز كلوريد الصوديوم إلى ٥٠ مللى مولار، وإلى ٢١٪ عند تركيز ١٠٠ مللى مولار، كما ذبلت وماتت البادرات عندما تعرضت بصورة فجائية لأى من التركيزين (Uno وآخرون ١٩٩٦).

وتمتص نباتات البنجر أيونات الصوديوم، والبوتاسيوم، والكلورين بقدر يتناسب مع الكميات الميسرة من كل منها فى محيط الجذور خلال موسم النمو؛ بما قد يؤدى أحيانًا إلى زيادة تركيز تلك العناصر فى الجذور بدرجة كبيرة.

وقد تساوى محصول البنجر عندما أضيفت كميات متساوية من أى من كلوريد البوتاسيوم أو كلوريد الصوديوم (Peck وآخرون ١٩٨٧).

وأحدثت زيادة تيسر الصوديوم فى التربة — بإضافة كلوريد الصوديوم — زيادة خطية فى تركيز الصوديوم فى جميع أجزاء النبات. وقد كان تركيز الصوديوم فى أعناق الأوراق وأنصالها فى منتصف موسم النمو دليلاً جيدًا على مستوى العنصر فى الجذور.

ووجد أن البنجر يستفيد من إضافة نحو ٢٥٠- ٥٠٠ كجم من ملح الطعام للفدان

فى الأراضى العضوية، والمعدنية فى المناطق الكثيرة الأمطار. وترجع الاستجابة إلى أيون الصوديوم فقط.

ولا ينصح — بطبيعة الحال — بالتسميد بكلوريد الصوديوم فى الأراضى القاحلة؛ لأنها تكون ملحية بطبيعتها.

كذلك أوضح Takahashi وىخرون (١٩٩٧) أن نمو نباتات البنجر كان طبيعيًا — وأفضل مما فى معاملة المقارنة — عندما خُفِّض مستوى البوتاسيوم وزيد مستوى الصوديوم، بينما ظهرت أعراض نقص البوتاسيوم وقل النمو إلى النصف — مقارنة بالكنترول — عندما خُفِّض مستوى البوتاسيوم بغير زيادة فى مستوى الصوديوم. ويعنى ذلك أن توفر الصوديوم وامتصاصه عوض نقص البوتاسيوم، كما حل الصوديوم محل البوتاسيوم فى توفير الضغط الأسموزى اللازم فى السيتوبلازم.

وقد درس Subbarao وآخرون (١٩٩٩) المدى الذى يمكن الذهاب إليه فى إحلال الصوديوم محل البوتاسيوم (إحلال بنسبة صفر، و٧٥، و٩٥، و٩٨٪) فى صنفين من البنجر، هما Ruby Queen، وKlein Bol نُميّا لمدة ٤٢يومًا مع استعمال محلول هوجلند المغذى بنصف قوته فى تقنية الغشاء المغذى. أظهرت الدراسة أن الوزن الكلى للصنف Ruby Queen كان أعلى ما يمكن عندما حل الصوديوم محل البوتاسيوم بنسبة ٩٨٪. وبالمقارنة .. نقص الوزن الكلى لنباتات الصنف Klein Bol بنسبة ٧٥٪ عندما كان الإحلال بنسبة ٩٨٪. وقد استبدل نحو ٩٥٪ من البوتاسيوم — فى كلا الصنفين — بالصوديوم، عندما كان الإحلال بنسبة ٩٨٪، حيث انخفض تركيز البوتاسيوم فى الأوراق من ١٢٠ جم/كجم وزن جاف عند صفر ٪ صوديوم إلى ٣,٥ جم/كجم وزن جاف عند نسبة إحلال ٩٨٪. هذا بينما لم يتأثر تركيز الكلوروفيل بالأوراق، ومعدل البناء الضوئى، والجهد الأسموزى — فى أى من الصنفين — بنسبة الإحلال. وقد تضاعف مستوى الجليسين بيتين glycine betaine فى الأوراق عند مستوى إحلال ٧٥٪ فى الصنف Klein Bol، ولكنه انخفض فى مستويات الإحلال

الأعلى مـن ذلـك. وبالمقارنـة .. اسـتمر مـستوى الجليـسين بيـتين فـى الـصنف Ruby Queen عاليًا فى مستويات الإحلال العالية.

وفى دراسة أخرى على نفس الـصنفين (Klein Bol، وRuby Queen) نُميًا تحـت الظروف ذاتها (لمدة ٤٢ يومًا مع استعمال محلـول هوجلنـد المغـذى بنـصف قوتـه فـى تقنيـة الغـشاء المغـذى)، ولكـن مـع تـوفير البوتاسـيوم بتركيـز ٥,٠، أو ١,٢٥، أو ٠,٢٥، أو ٠,١٠ مللى مولار، والصوديوم — فى كل الحالات — بتركيز ٥٠ مللى مولار، وجد ما يلى:

١–أدى خفض مستوى البوتاسيوم من ٥,٠ إلى ٠,١٠ مللى مولار إلى زيادة امتصاص الصوديوم بمقدار أربعة أضـعاف، ووصـل مـستوى الـصوديوم فـى أنـصال الأوراق إلى ٢٠ جزءًا فى المليون على أساس الوزن الجاف.

٢–رافق ذلك انخفاض فى مستوى البوتاسيوم فى أنصال الأوراق من ٦٠ جـزءًا فـى الملون (على أساس الوزن الجاف) عند تركيز للبوتاسـيوم قـدره ٥,٠ مللـى مـولار إلى ٤,٠ أجزاء فى المليون عند تركيز ٠,١٠ مللى مولار.

٣–أظهر الـصنف Klein Bol نقصًا خطيًـا فـى إنتـاج المـادة الجافـة مـع الـنقص فـى البوتاسيوم الميسر، بينما ازداد النمو فى الصنف Ruby Queen عند تركيـز ١,٢٥ مللـى مـولار للبوتاسيوم، وكان غير حساس نسبيًا لاستمرار نقص البوتاسيوم حتى ٠,١٠ مللى مولار.

٤–لم يتأثر محتـوى الأوراق مـن الجليـسين بيـتين بـتغير مـستوى البوتاسـيوم فـى المحلول المغذى.

٥–ازداد محتوى الأوراق النسبى من الماء وازداد الجهد الأسموزى بها جوهريًـا فـى كلا الصنفين فى المستويات المنخفضة من البوتاسيوم الميسر.

٦–انخفض محتوى الأوراق من الكلوروفيل جوهريًـا فـى المـستويات المنخفـضة مـن البوتاسيوم، ولكن لم يتأثر معدل البناء الضوئى فيها جوهريًا.

٧- لم تلاحظ تغيرات كبيرة فى تركيز الكاتيونات الكلى فى الأنسجة النباتية على الرغم من التغيرات الكبيرة التى حدثت فى معدل الامتصاص النسبى لكل من الصوديوم والبوتاسيوم عند مختلف تركيزات البوتاسيوم.

٨- بلغ امتصاص الصوديوم ٩٠٪ من الكاتيونات الكلية الممتصة فى المستويات المنخفضة من البوتاسيوم، بما يعنى أن الصوديوم حل محل البوتاسيوم فى الوظائف الأسموزية دون التأثير سلبيًا على النبات أو حالته المائية.

٩- كان الصنف Ruby Queen أكثر تحملاً عن الصنف Klein Bol لزيادة تركيز الصوديوم فى أنسجته قبل أن يظهر عليه أى نقص فى النمو (Subbarao وآخرون ٢٠٠٠).

الفصل الثامن

تسميد الخضر البصلية
(البصل - الثوم)

البصل

يجب أن يهدف تسميد البصل إلى الحصول على أكبر قدر من النمو الخضرى قبل أن تبدأ النباتات فى تكوين الأبصال.

العناصر الأولية وأهميتها

النيتروجين

لا يمكن الحصول على أعلى محصول من البصل إلا إذا استمر توفير عنصر النيتروجين للنبات من الزراعة حتى الحصاد. وعلى الرغم من أن نبات البصل تزداد حاجته إلى النيتروجين خلال فترات النمو السريع، إلا أن عدم توفر العنصر بالقدر المناسب خلال المراحل المبكرة من النمو — التى لا يستهلك البصل خلالها كميات كبيرة من العنصر — يظهر تأثيره بعد ذلك على صورة نقص فى المحصول.

يفضل دائمًا توفير العنصر بكميات مناسبة خلال مختلف مراحل النمو حتى بداية تكوين الأبصال، ثم يترك النبات ليستنفذ مخزون التربة من النيتروجين، ولكن مع مراعاة عدم تعريض النبات لنقص فى العنصر (عن Corgan & Kedar ١٩٩٠).

وتمتص نباتات البصل الفتيل ٤٢٪، و٤٥٪، و١٣٪ من احتياجاتها من عنصر النيتروجين فى الشهرين الأول والثانى، والشهر الثالث، والشهر الرابع بعد الشتل، على التوالى، ويكون الامتصاص فى حدود حوالى ٥٥–٧٠ كجم من الآزوت للفدان، يصل نحو ثلثها إلى الأوراق، والباقى إلى محصول الأبصال.

قد تظهر أعراض نقص النيتروجين فى أولى مراحل النمو النباتى، ويكون ذلك على صورة تقزم مبكر مع نقص فى نمو الأوراق وبهتان في لونها، ويلى ذلك اصفرار فى قمة الأوراق يمتد تدريجيًّا إلى أن يشمل الورقة كلها. ويؤدى نقص الآزوت فى مراحل النمو التالية إلى بطء نمو النباتات، واصفرار الأوراق السفلى، وصغر حجم الأبصال المتكونة.

وعلى الرغم من أن تكوين الأبصال يعتمد كلية على الفترة الضوئية، حيث لا تتكون الأبصال إلا إذا زاد طول النهار عن الفترة الضوئية الحرجة للصنف، إلا أن عنصر الآزوت يؤثر كذلك فى هذا المجال، إذ يؤدى نقص العنصر – عندما تكون الفترة الضوئية مماثلة، أو أقل قليلاً من الفترة الحرجة – إلى إسراع تكوين الأبصال، بينما تؤدى زيادة العنصر فى هذه الظروف إلى بطء تكون الأبصال.

وتؤدى ظروف البرودة مع زيادة الرطوبة الأرضية إلى نقص النيتروجين الميسر للنبات.

ومن ناحية أخرى .. فإن لتوفر النيتروجين فى مستوى أعلى من حاجة النبات للنمو الجيد تأثيرات سلبية، أهمها زيادة النمو الخضرى وإطالة فترته؛ مما يؤدى إلى ما يلى:

١– زيادة انتشار الأمراض الفطرية عند توفر الرطوبة عقب الرى.

٢– تأخير النضج.

٣– زيادة سمك عنق البصلة وتدهور نوعيتها.

٤– ضعف مقدرة الأبصال على التخزين بسبب زيادة سمك عنق البصلة، وزيادة نسبة الرطوبة بها.

٥– زيادة نسبة الأبصال المزدوجة.

وتؤدى الزيادة الكبيرة فى التسميد الآزوتى خلال المراحل المتأخرة من النمو إلى تأخير النضج، وعدم صلابة الأبصال المتكونة، وضعف صلاحيتها للتخزين.

وتؤثر نوعية السماد النيتروجينى المستعمل على محصول البصل ونوعية الأبصال المنتجة؛ فقد وجد Batal وآخرون (١٩٩٤) أنه عند التسميد الآزوتى بمعدلات متوسطة أو مرتفعة (١٦٨، و٢٢٤ كجم نيتروجينًا للهكتار على التوالى)، أدى استعمال نترات الأمونيوم،أو نترات الصوديوم، أو نترات الصوديوم والبوتاسيوم إلى زيادة حجم الأبصال بشدة، وكانت نترات الأمونيوم أكثرها تأثيرًا. كذلك أدت المستويات العالية (٢٢٤ كجم نيتروجين للهكتار) والإضافات المتكررة من العنصر (فى تربة رملية) إلى زيادة حجم الأبصال ووزنها. وكانت أفضل معاملات الإضافات المتكررة تأثيرًا فى زيادة حجم الأبصال تلك التى أضيف فيها ٣٣٪ من النيتروجين خلال الإثنى عشرة أسبوعًا الأولى من فترة النمو، ثم اتبعت بثلاث إضافات أخرى — كل منها ٢٢٪ من النيتروجين — خلال الإثنى عشرة أسبوعًا التالية. وكانت أكثر الأسمدة الآزوتية تأثيرًا فى زيادة أعفان الأبصال نترات الأمونيوم، وأقلها تأثيرًا نترات الكالسيوم ونترات الصوديوم.

وقارن Abbes وآخرون (١٩٩٥) تسميد البصل بنسب مختلفة من الأمونيوم إلى النترات تراوحت بين الصفر والـ ١٠٠٪ لكل أيون منهما، مع تثبيت مستوى النيتروجين فى المحلول المغذى — فى جميع المعاملات — عند مللى مولار واحد، ووجد الباحثون أن تأثير أيون النيتروجين على نمو الجذور، ووزن النمو الخضرى، والوزن الكلى للنبات قد توقف على عمر النبات. ففى مراحل النمو المبكرة حدث أكثر نمو نباتى وامتصاص للنيتروجين عندما استعمل الأمونيوم كمصدر وحيد للعنصر. وفى مراحل النمو التالية ازداد النمو النباتى وامتصاص الكالسيوم كلما زيدت نسبة النترات إلى الأمونيوم فى المحلول المغذى. وقد أدت زيادة الأمونيوم إلى نقص امتصاص الكاتيونات الأخرى وإلى زيادة امتصاص الفوسفور، ولكن لم تظهر أعراض نقص النيتروجين فى أى من معاملات التسميد.

ولا تمتص نباتات البصل– عادة — إلا نحو ٣٧٪ من كميات النيتروجين التى تسمد بها النباتات لإنتاج أعلى محصول من البصل. أما الكمية الباقية فإن جزءًا منها

يتسرب إلى باطن التربة مع مياه الرشح، بينما يتبقى الجزء الآخر فى التربة إلى ما بعد حصاد المحصول. ويجب ألا يكون هذا الجزء الأخير كبيرًا لكى لا يحفِّز النباتات على تكوين نموات جديدة فى مراحل النمو المتأخرة؛ الأمر الذى يؤدى إلى تأخير النضج.

ويعنى ذلك أن كميات الأسمدة الآزوتية التى يتعين إضافتها لإنتاج أعلى محصول من البصل يترتب على إضافتها تلوث المياه الجوفية بالأسمدة، وزيادة ملوحة التربة.

وتتم معالجة ذلك جزئيًا بالاكتفاء بإضافة النيتروجين بمعدل حوالى ٢٠ كجم للهكتار (حوالى ٨,٥ كجم للفدان) عند الزراعة — وتحت خطوط الزراعة — فى صورة محلول بادئ من فوسفات الأمونيوم؛ حيث يؤدى ذلك إلى إسراع نمو البادرات — بسبب زيادة امتصاص الفوسفور — مع امتصاص البادرات لمعظم كمية النيتروجين المضافة. ومع إضافة كميات أخرى من نترات الأمونيوم مع الفوسفور والبوتاسيوم قبل الزراعة، فإن معدل إزالة النيتروجين من التربة يمكن إن يرتفع من ٣٣٪ إلى ٥٢٪. ويرجع ذلك إلى أن النمو السريع المبكر للنباتات بسبب المحلول البادئ من فوسفات الأمونيوم يزيد من كفاءة المجموع الجذرى فى الاستفادة من العناصر السمادية المضافة (عن Brewster ١٩٩٤).

وقد أدت زيادة مستوى النيتروجين فى المحلول المغذى للبصل من ٠,٢٢ جم/لتر إلى ٠,٩٧ جم/لتر إلى إحداث نقص خطى فى كل من الوزن الطازج للأبصال وصلابتها، بينما ازدادت خطيًّا قوة الطعم — مُقدَّرة بحامض البيروفك المتكون إنزيميًّا — بزيادة مستوى النيتروجين بين ٠,٢٢، و ٧٨ جم/لتر، لكنها انخفضت قليلاً فى أعلى مستوى من النيتروجين، والذى بلغ ٠,٩٧ جم/لتر. هذا .. ولم يتأثر محتوى السكريات الذائبة بمستوى النيتروجين فى المحلول المغذى، لكنه أثر على جودة الطعم. فقد ازداد تركيز المركب: methyl cysteine sulfoxide (الذى يُعطى الطعم الطازج لكل من الكرنب والبصل عقب أكلهما) بزيادة مستوى النيتروجين فى المحلول المغذى. كذلك ازداد تركيز

المركب: 1-propenyl cysteine sulfoxide (الذى يُعطى الطعم الحار عند أكل البصل الطازج) بزيادة مستوى النيتروجين بين أقل مستويين، ثم انخفض تركيز المركب بزيادة مستوى النيتروجين عن ذلك. وازداد تركيز المركب: propyl cysteine sulfoxide (الذى يعطى الطعم الطازج لكل من الكرنب والبصل الطازج عقب أكلهما) بزيادة مستوى النيتروجين. ومع زيادة مستوى النيتروجين فى المحلول المغذى ازداد محتوى الأبصال من كل من النيتروجين الكلى والنتراتى خطيًّا، بينما انخفض تركيز البورون والكالسيوم والمغنيسيوم فيها خطيًّا. أما محتوى الأبصال من الكبريت والبوتاسيوم فقد ازداد ثم انخفض استجابة لزيادة مستوى النيتروجين (Randle ٢٠٠٠).

الفوسفور

يعتبر توفر الفوسفور أمرًا حيويًّا للنمو النباتى المبكر، وتزداد الاستجابة للتسميد بالعنصر فى الجو البارد.

ويؤدى نقص الفوسفور إلى بطء النمو، وتأخير النضج، وزيادة قطر الرقبة. كذلك يظهر فى حالة نقص العنصر تبرقشًا باللونين الأصفر والأخضر على الأوراق الكبيرة.

ويتعين لإنتاج محصول جيد من البصل أن لا يقل تركيز الفوسفور الميسر فى التربة — والمستخلص بواسطة بيكربونات الصوديوم — عن ١٨ مجم/كجم من التربة (Abdul Ghani & Habib-ur-Rehman ١٩٩٣).

وتمتص نباتات البصل ٣٢، و٤٧، و٢١٪ من احتياجاتها من عنصر الفوسفور خلال الشهرين الأول والثانى، والشهر الثالث، والشهر الرابع بعد الشتل، على التوالى. ويبلغ إجمالى الامتصاص حوالى ٥٥ كجم من P_2O_5 للفدان، يصل نحو ربعها إلى الأوراق، والباقى إلى محصول الأبصال.

البوتاسيوم

تظهر أعراض نقص البوتاسيوم على صورة اصفرار فى قمة الأوراق المسنة يتحول تدريجيًّا إلى اللون الرمادى المصفر، مع تقدمه باتجاه قاعدة الورقة التى تذبل فى

نهاية الأمر. كما يؤدى نقص العنصر إلى تأخير النضج، وزيادة نسبة الأبصال ذات العنق السميك.

يتعين لإنتاج محصول جيد من البصل أن لا يقل تركيز البوتاسيوم الميسر فى التربة – والمستخلص بواسطة خلات الأمونيوم – عن ٢١٨ مجم/كجم من التربة (Abdul Ghani & Habib-ur-Rehman ١٩٩٣).

العناصر الأخرى وأهميتها

الكبريت

احتوت أبصال البصل التى أُنتجت فى ظل مستوى منخفض من الكبريت (٠,١ مللى مكافئ/لتر، أو ٢ جزء فى المليون من الكبريت) على ١,٩ ميكرومول حامض بيروفيك/جم وزن طازج، بينما احتوت تلك التى أُنتجت فى ظل مستوى عالٍ من العنصر (٧,٧ مللى مكافئ/لتر، أو ١٢٣ جزء فى المليون من الكبريت) على ٥,٥ ميكرومول/جم وزن طازج. وكان وزن البصلة أقل جوهريًا فى المستوى المنخفض من الكبريت، مقارنة بوزنها فى المستوى المرتفع (٣١١ جرامًا مقابل ٥٠٤ جرامات)، وكذلك أثر مستوى الكبريت على محتوى العنصر فى كل من الأوراق (٠,٢٦٪ مقابل ٠,٨٥٪) والأبصال (٠,١٣٪ مقابل ٠,٤٣٪) (Hamilton وآخرون ١٩٩٧).

وقد أدى التسميد بالكبريت، وخاصة بمعدل ٧١٤ كجم للهكتار (٣٠٠ كجم/فدان) إلى إحداث زيادة جوهرية فى محتوى الأبصال من كل من المواد الصلبة الذائبة الكلية، والفرُكتان fructan، والمواد الكربوهيدراتية التى تذوب فى الماء، وحامض الأسكوربيك، مع إحداث نقص طفيف فى محتوى الأبصال من السكريات المفردة. كذلك ازداد جوهريًا كلاً من حامض البيروفك الكلى والمتكون إنزيميًا (مكونات الحرافة والمحتوى الكبريتى المتطاير والمحتوى من الأحماض الأمينية الكبريتية: المثيونين والسيستين cystine والسيستاين cysteine) بزيادة التسميد بالكبريت، وخاصة بمعدل ٣٠٠ كجم/فدان.

كذلك أدى التسميد بالكبريت إلى زيادة محتوى الأبصال من جميع المكونات القابلة للتطاير بالزيت المتطاير، وخاصة من كل من (Bakr & Gawish ١٩٩٨):

Propanethiol (n-propyl mercaptan)

Propionaldehyde

di-1-propyl disulfide

methyl propenyl disulfide

وازداد متوسط وزن بصلة البصل بزيادة مستوى الكبريت فى المحاليل المغذية من ٠,٥ إلى ٤,٠ مللى مكافئ/لتر. وكان للكبريت تأثيرًا جوهريًا على صلابة الأبصال، حيث ازدادت صلابتها بزيادة مستوى الكبريت حتى أعلى مستوى استخدم فى الدراسة. هذا بينما لم يكن لمستوى الكبريت تأثيرًا جوهريًا على محتوى الأبصال من المواد الصلبة الذائبة أو السكريات الذائبة. وجدير بالذكر أن الانخفاض فى صلابة الأبصال فى المستويات المنخفضة من الكبريت كان مصاحبًا بنقص فى بناء الجدر الخلوية (Lancaster وآخرون ٢٠٠١).

الكالسيوم

أوضحت دراسات Fenn وآخرون (١٩٩١) أن إضافة الكالسيوم أدت إلى زيادة كفاءة امتصاص النيتروجين المستعمل فى التسميد؛ فقد قارن الباحثون التسميد — تحت ظروف الصوبة — بنسب مولارية من الكالسيوم إلى الأمونيوم تراوحت فيها نسبة الكالسيوم من الصفر إلى ضعف الأمونيوم، ووجدوا أن امتصاص الأمونيوم ازداد بمقدار ١٨٩٪ فى الأبصال وبمقدار ٦٧٪ فى النموات الخضرية بزيادة النسبة المولارية بين الكالسيوم والأمونيوم حتى ١ : ١، كما زاد محصول الأبصال بنسبة ٤١٪ بزيادة النسبة المولارية بينهما إلى ٠,٥ : ١,٠. وتحت ظروف الحقل أدى التسميد بكلوريد الكالسيوم مع اليوريا بنسبة مولارية مقدارها ٠,٢٥ : ١,٠ من الكالسيوم إلى الأمونيوم إلى زيادة محصول الأبصال بنسبة ٦٤٪ مقارنة بالتسميد باليوريا فقط.

النحاس

من الأعراض المميزة لنقص عنصر النحاس أن قمة الأوراق تصبح خضراء مصفرة، ثم تتحول إلى اللون الأصفر، فالأبيض، وتلتو بزاوية قائمة. أما الأبصال فتكون حراشيفها رقيقة، وباهتة اللون، وتنفصل بسهولة عن البصلة أثناء تداول المحصول. ويتبع ذلك نقص الجودة، وضعف قدرة الأبصال على التخزين.

تظهر أعراض نقص النحاس عندما ينخفض تركيزه في الأوراق عن ٣ ميكروجرامات/جم (٣ أجزاء في المليون). ويعالج نقص الزنك في التربة بإضافة نحو ٣٠٠– ٣٥٠ كجم من مسحوق كبريتات النحاس للهكتار (١٢٥–١٥٠ كجم للفدان). أما أثناء النمو فإن نقص النحاس يمكن معالجته بالرش بكبريتات النحاس بتركيز ٠,٢٥٪، ثم تكرار الرش — إذا لزم الأمر — بعد حوالي ثلاثة أسابيع من الرشة الأولى. وتجدر الإشارة إلى أن عنصر النحاس يصبح سامًا للبصل إذا وصل تركيزه في المادة الجافة إلى ٢٠ جزءًا في المليون أو أكثر من ذلك (عن Brewster ١٩٩٠).

المنجنيز

من أهم أعراض نقص المنجنيز ضعف النمو النباتي بشدة مع ظهور خطوط صفراء اللون على الأوراق الخارجية، مع موتها من القمة نحو القاعدة، وانحنائها لأسفل.

ويعالج نقص العنصر برش النباتات بكبريتات المنجنيز بمعدل ١٥ كجم للهكتار (٦ كجم للفدان)، أو بإضافة كبريتات المنجنيز إلى التربة بمعدلات أعلى من ذلك.

الزنك

أدى التسميد بالزنك في تربة جيرية إلى زيادة الوزن الجاف لأبصال البصل وزيادة المحصول حتى بلغ أقصى قدر عندما كان مستوى الزنك ٨ مجم/كجم من التربة. وكان المستوى الحرج للزنك في النسيج النباتي هو ٣٠ مجم/كجم في النموات الخضرية الكاملة الصغيرة، و٢٥ مجم/كجم في النموات الخضرية الكاملة المسنة، و١٦ مجم/كجم في الأوراق، و١٤ مجم/كجم في الأبصال (Rafique وآخرون ٢٠٠٨).

البورون

من أهم أعراض نقص البورون تقزم النباتات وتشوهها. ويختلف لون الأوراق المتأثرة بنقص العنصر بين الأخضر القاتم الضارب إلى الرمادى والأخضر الضارب إلى الزرقة، ولكن مع اكتساب الأوراق الحديثة تبرقشًا واضحًا باللونين الأخضر والأصفر. وتظهر على الجانب العلوى للأوراق القاعدية مناطق متكرمشة لا تلبث أن تظهر فيها تشققات، ثم تصبح الأوراق صلبة وسهلة التقصف (عن Purvis & Carlous ١٩٦٤).

يؤدى الرى بالمياه الغنية بالبورون إلى زيادة تدريجية فى محتوى التربة من العنصر، مع زيادته فى المحلول الأرضى، حيث يوجد توازن بين البورون المدمص على سطح غرويات التربة والبورون الذائب فى المحلول الأرضى. ويتوقف تركيز البورون فى المحلول الأرضى على تركيزه فى مياه الرى، وطبيعة التربة، وكمية مياه الرى المستعملة، ومعدل الغسيل Leaching Fraction.

وقد وجد Francois (١٩٩١) أن محصول البصل ينقص بمقدار ١,٩٪ مع كل زيادة مقدارها ملليجرام واحد من البورون فى كل لتر من المحلول الأرضى أعلى من ٨,٩ مجم/لتر، ولكن لم يتأثر قطر الأبصال أو وزنها بزيادة تركيز البورون حتى الحدّ الذى استعمل فى الدراسة، وهو ٢٠ مجم/لتر. وقد وجد ارتباط مباشر وموجب بين تركيز البورون فى الأوراق والأبصال وتركيزه فى المحلول الأرضى.

هذا.. إلاّ أن التسمم بالبورون يترتب عليه حدوث احتراق فى قمة الأوراق، يمتد تدريجيًّا نحو قاعدتها، مع عدم تكون البصلة (عن Gupta ١٩٧٩).

التعرف على الحاجة للتسميد من تحليل النبات

يفيد تحليل نبات البصل فى التعرف على مدى حاجته للتسميد. وتستخدم الورقة الثالثة فى الظهور كدليل للتحليل، على أن يكون ذلك فى منتصف موسم النمو، وعلى أن تكون الورقة هى أطول أوراق النبات فى ذلك الحين. ويُبيِّن جدول (٨-١) المستويات الدالة على نقص وكفاية بعض العناصر فى نبات البصل على تلك الأسس (Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

جدول (٨–١): المستويات الدالة على نقص وكفاية بعض العناصر فى نبات البصل (على أساس الوزن الجاف).

العنصر	المستوى عند	
	النقص	الكفاية
الآزوت الكلى (٪)	أقل من ٢,٠	أكثر من ٢,٥
الفوسفور الكلى (٪)	أقل من ٠,١	أكثر من ٠,٢
البوتاسيوم الكلى (٪)	أقل من ٢,٠	أكثر من ٢,٥
الزنك الكلى (جزء فى المليون)	أقل من ١٥,٠	أكثر من ٢٠,٠
المنجنيز الكلى (جزء فى المليون)	أقل من ١٥,٠	أكثر من ٢٠,٠

أما جدول (٨–٢) فإنه يوضح المحتوى الحرج والمدى المناسب من مختلف العناصر عند اختلاف مرحلة النمو والجزء النباتى المستعمل فى التحليل.

جدول (٨–٢): المحتوى الحرج (يمثله الحد الأدنى) والمدى المناسب من مختلف العناصر الغذائية فى البصل حسب تقديرات حُصِلّ عليها من دراسات مختلفة (عن Caldwell وآخرين ١٩٩٤).

الدراسة	الجزء النباتى المستعمل(أ)	مرحلة النمو (ب)	نوع الدراسة (ج)	النسبة المئوية فى المادة الجافة لعنصر				
				النيتروجين	الفوسفور	البوتاسيوم	الكالسيوم	المغنيسيوم
١	YMB	MG	S	٣,٥–٢,٥	٠,٤٠–٠,٢٥	٥,٠–٢,٥	٣,٥–١,٥	٠,٥٠ –٠,٣٠
٢	YMB	B	G	٣,٨–٣,٠	٠,٤٠–٠,٢٧	٣,٤–٢,٠	١,٧–٠,٩	٠,٣٨–٠,١٨
٣	YMB	$B_{2.5}$	F	٤,٠	٠,٤٥–٠,٤٣	٤,٦–٤,٥	–	–
٤	T	B	F	٣,٠–٢,٧	٠,٤٠–٠,٣٠	٢,٧–٢,٥	–	–
٥	W	3m	G	٢,٣–١,٩	٠,٣٠–٠,١٨	٢,١–١,٧	–	–

(أ) – YMB: أحدث نصل ورقة مكتمل النمو Youngest Mature Blade، وT: قمة النبات Top، وW: كل النبات Whole Plant.

(ب) – MG: منتصف النمو Mid-Growth، وB: تكوين الأبصال Bulbing، و$B_{2.5}$: البصلة بقطر ٢,٥ سم، و3m: عمر ثلاثة شهور 3 months.

(ج) – S: حصر Survey، وG: فى الصوبة Greenhouse، وF: فى الحقل Field.

برنامج تسميد البصل

قواعد عامة

تستجيب نباتات البصل — وغيرها من الخضر الثومية — للإضافات الكبيرة من مختلف العناصر السمادية، بدرجة أكبر من استجابة غيرها من بعض الخضر — مثل الصليبيات — على الرغم من أن محصول البصل لا يزيل من التربة من هذه العناصر ما تزيله الخضر الأخرى. ويرجع ذلك إلى أن المجموع الجذرى للبصل سطحى (غير متعمق)، وقليل الكثافة، ولا تحتوى الجذور على شعيرات جذرية. لذا.. فإن قدرة جذور البصل على امتصاص العناصر الغذائية من التربة تزداد بزيادة كميات العناصر التى تصل إليها بطريق الانتشار diffusion فى المحلول الأرضى؛ الأمر الذى لا يتحقق إلا بزيادة معدلات التسميد (عن Brewster ١٩٩٤).

كذلك تستجيب بادرات البصل للأسمدة البادئة التى تضاف تحت الشتلات أو البذور المزروعة، حتى ولو كانت التربة غنية أصلاً بالعناصر المغذية الضرورية للنبات. ومرد ذلك أن بادرات البصل الصغيرة تكون فى حاجة إلى تركيزات أعلى من العناصر — لكل وحدة طول من الجذر — عن النباتات الأكبر عمرًا، كما يكون المجموع الجذرى المحدود للبادرة بعيدًا عن الأسمدة التى تضاف نثرًا قبل الزراعة.

وقد أدى استعمال محلول بادئ من فوسفات الأمونيوم — تحت البذور — عند الزراعة فى تربة خصبة مسمدة جيدًا بالنيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم إلى زيادة امتصاص النباتات لعنصرى الفوسفور والنيتروجين، وزيادة النمو الخضرى المبكر بنحو ٥٠٪، وبما يعادل نحو ٣– ٣,٥ يومًا من النمو النباتى، مقارنة بالنباتات التى لم تتلق معاملة السماد البادئ. كما بكرت معاملة السماد البادئ النضج بنحو يوم إلى يومين ونصف، وذلك بحساب عدد الأيام حتى انحناء أوراق ٥٠٪ من النباتات إلى أسفل.

كذلك أدت المعاملة بالسماد البادئ إلى نقص نسبة النباتات غير الناضجة ذى الرقاب السميكة، إلا أنها لم تؤثر على المحصول (Brewster وآخرون ١٩٩١).

وكما أسلفنا.. فإن توفر الفوسفور يعد أمرًا حيويًا للنمو النباتى المبكر، وتزداد الاستجابة للعنصر فى الجو البارد. وإذا حدثت المراحل الأولى لنمو البادرات خلال فصل الشتاء، فإنه يتعين استمرار التسميد بالفوسفور على امتداد تلك الفترة. وللتغلب على هذه المشكلة تفضل إضافة الفوسفور — نثرًا قبل الزراعة — بمعدل ٣٠٠ كجم فوسفورًا للهكتار (حوالى ١٢٥ كجم فدان). ولكن يمكن استعمال كميات أقل من الفوسفور إذا أمكن إضافته تحت سطور الزراعة فى حالات زراعة البذور آليًا — مباشرة — فى الحقل الدائم.

وبمقارنة التسميد بمستويات مختلفة من الفوسفور، هى: صفر، و ١٢٠، و٢٤٠، و٣٦٠ كجم من سماد السوبر فوسفات الأحادى للفدان، وجد Farghali & Zeid (١٩٩٥) أن محصول البصل ازداد بزيادة التسميد الفوسفاتى، وأن أعلى محصول أُنتج عندما كان التسميد بمعدل ٢٤٠ أو ٣٦٠ كجم سوبر فوسفات للفدان.

وقد استجاب البصل — فى دراسات مختلفة — لزيادة معدلات التسميد الآزوتى حتى ٩٠، و١٣٤، و١٨٠، و٢٨٦ كجم نيتروجينًا للهكتار (٣٨، و٥٦، و٧٦، و١٢٠ كجم للفدان على التوالى) (عن Batal وآخرين ١٩٩٤)، وكذلك حتى ١٠٠– ١٢٥ كجم للهكتار (٤٢– ٥٢ كجم للفدان) (Visser وآخرون ١٩٩٥).

ويستدل من مختلف الدراسات أن البصل يستجيب كثيرًا للتسميد بعناصر النيتروجين والفوسفور، والبوتاسيوم. ويتطلب المحصول — عادة — من١٥٠– ٢٠٠ كجم نيتروجينًا للهكتار (٦٥–٨٥ كجم للفدان)، ونحو ٢٥ إلى ١٣٠ كجم من الفوسفور للهكتار فى الأراضى الفقيرة والأراضى الغنية بالعنصر على التوالى (١٠ و٥٥ كجم للفدان على التوالى)، ونحو ٥٠ إلى ٢٥٠ كجم من البوتاسيوم للهكتار فى الأراضى الفقيرة والأراضى الغنية بالعنصر، على التوالى (٢٠ و١٠٥ كجم للفدان، على التوالى) (عن Brewster ١٩٩٠). ويلاحظ أن الكميات المبينة أعلاه من عنصرى الفوسفور

والبوتاسيوم هى من العناصر ذاتها وليست من أكاسيدها (للتحويل من P_2O_5 إلى P يضرب فى ٠,٤٣٦٤، وللتحويل من K_2O إلى K يضرب فى ٠,٨٣٠١).

يضاف الفوسفور والبوتاسيوم إلى التربة قبل الزراعة — عادة — كما يضاف معظم النيتروجين أيضًا خلال هذه المرحلة، ولكن تلزم إضافة المزيد من النيتروجين أثناء نمو المحصول.

ويراعى دائمًا عدم الإفراط فى كميات الأسمدة السريعة الذوبان التى تضاف قبل الزراعة — مثل الأسمدة النتراتية — ذلك لأنها تؤدى إلى زيادة ملوحة المحلول الأرضى؛ الأمر الذى يضر كثيرًا بإنبات البذور ونمو البادرات، حيث يعتبر البصل من المحاصيل الحساسة للملوحة. ولا تزيد كمية النيتروجين التى تضاف — عادة — قبل الزراعة عن ٦٠- ٨٠ كيلو جرام للهكتار (٢٥-٣٥ كجم للفدان).

التسميد فى الأراضى الطميية

يسمد البصل فى الأراضى الثقيلة والطميية — التى تروى بالغمر — عند الحرث بنحو ٣٠٠- ٤٠٠ كجم من السوبر فوسفات (أى بنحو ٤٥-٦٠ وحدة P_2O_5) للفدان، ثم يضاف نحو ١٠٠-٢٠٠ كجم من سلفات البوتاسيوم (أى نحو ٥٠- ١٠٠ كجم وحدة K_2O) للفدان عند ريّة المحاياة. أما السماد الآزوتى، فيضاف بمعدل ٤٠٠- ٤٥٠ كجم سلفات نشادر (أى بمعدل ٨٠- ٩٠ كجم نيتروجين للفدان)، وتضاف سرًّا أسفل النباتات على جانبى الخط على دفعتين، الأولى بعد العزق بنحو ٢٥- ٣٠ يومًا من الشتل وريّة الزراعة، والثانية: بعد ذلك بنحو ٣٠ يومًا (معهد بحوث الإرشاد الزراعى والتنمية الريفية ١٩٨٥).

التسميد فى الأراضى الرملية

أولًا: أسمدة تضاف قبل الزراعة وتخلط بالسماد العضوى

تكون إضافة الأسمدة السابقة للزراعة نثرًا أثناء إعداد الحقل للزراعة، مع تغطيتها بالحراثة، ويوصى بإضافة الأسمدة التالية للفدان:

٤٠م٣ من السماد البلدى (سماد الماشية)، أو نحو ٢٠م٣ من السماد البلدى، مع ١٠م٣ من سماد زرق الدواجن.

٣٠ كجم نيتروجينًا (١٥٠ كجم سلفات نشادر)، و٦٠ كجم P_2O_5 (٤٠٠ كجم سوبر فوسفات عاديًا)، و٣٠ كجم K_2O (٦٠ كجم سلفات بوتاسيوم)، و٨ كجم MgO (٨٠ كجم سلفات مغنيسيوم)، و١٠٠ كجم كبريتًا زراعيًا.

ثانيًا: أسمدة عناصر أولية تضاف عن طريق التربة، أو مع ماء الرى بعد الزراعة

توالى حقول البصل بعد الشتل بالتسميد بالعناصر الأولية بمعدل حوالى ١٠٠ كجم نيتروجينًا (N)، و١٢٠ كجم بوتاسيوم (K_2O) للفدان على النحو التالى:

١– تستخدم اليوريا وسلفات الأمونيوم (بنسبة ١ : ١ من النيتروجين المضاف) كمصدر للنيتروجين خلال الأسابيع الثلاثة الأولى بعد إنبات البصيلات أو الشتل، ثم تستخدم سلفات النشادر – منفردة – أو مع نترات الأمونيوم بعد ذلك. وتتوقف النسبة المستخدمة من النيتروجين النتراتى على درجة الحرارة السائدة؛ حيث تنتفى الحاجة إليه فى الجو الدافئ (لتحول الأمونيوم إلى نترات بسرعة فى هذه الظروف)، بينما تزيد الحاجة إليه (فى حدود ٢٥٪ – ٥٠٪ من كمية النيتروجين الكلى المضاف) فى الجو البارد.

٢– تستخدم سلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم، ويلزم – فى حالة إضافتها مع ماء الرى بالرش – عمل عجينة من السماد مع حامض النيتريك بنسبة ٤ : ١، وتركها يومًا كاملاً قبل إذابتها فى الماء وأخذ الرائق للتسميد به.

٣– توزع كميات عناصر النيتروجين والبوتاسيوم المخصصة للمحصول على النحو التالى:

أ– يزداد معدل التسميد بالنيتروجين – تدريجيًا – إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد الشتل أو إنبات البصيلات بنحو شهرين، ثم تتناقص الكمية – تدريجيًا – إلى أن يتوقف التسميد نهائيًا قبل الحصاد بنحو ثلاثة أسابيع.

ب- يزداد معدل التسميد بالبوتاسيوم ببطء، إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد الشتل أو إنبات البصيلات بنحو شهرين ونصف الشهر إلى ثلاثة شهور، ثم تتناقص الكمية المضافة منه تدريجيًّا، إلى أن يتوقف التسميد بالبوتاسيوم كلية مع توقف الرى السابق للحصاد.

٤- تحسب الكمية اللازمة من جميع الأسمدة لكل أسبوع من موسم النمو — حسب مرحلة النمو النباتى — ثم تضاف بالكيفية التالية:

أ- فى حالة الرى السطحى (وهو ما لا يوصى به فى الأراضى الرملية):

تخلط الأسمدة معًا وتضاف — على فترات أسبوعية — سرًا إلى جانب النباتات، وعلى مسافة ٧ سم من قاعدتها.

ب- فى حالة الرى بالرش:

تخلط الأسمدة معًا، وتضاف سرًا إلى جانب النباتات كما فى حالة الرى السطحى. كذلك يمكن التسميد مع ماء الرى بالرش، وخاصة خلال النصف الثانى من حياة النبات، حينما تكون جذوره قد انتشرت فى الحقل إلى درجة تسمح بأكبر استفادة ممكنة من الأسمدة المضافة، والتى تتوزع مع ماء الرى فى كل الحقل. ويلزم فى هذه الحالة تشغيل جهاز الرى بالرش أولاً بدون سماد، لمدة تكفى لبل سطح التربة، وبل أوراق النبات، وإلا فقد السماد بتعمقه فى التربة مع ماء الرى. يلى ذلك إدخال السماد مع ماء الرى لمدة تكفى لتوزيعه بطريقة متجانسة فى الحقل. ويعقب ذلك الرى بالرش بدون تسميد لمدة قصيرة؛ بغرض غسل السماد من على الأوراق. وتحريكه فى التربة، والتخلص من آثاره فى جهاز الرى بالرش.

ثالثًا: التسميد بالعناصر السماوية الأخرى

لا تحتاج حقول البصل — عادة — إلى كميات إضافية من عناصر الكبريت، والمغنيسيوم، والكالسيوم التى تتوفر بكميات تفى بحاجة النبات فى الأسمدة التى سبقت الإشارة إليها.

أما العناصر الصغرى: (الحديد، والزنك، والمنجنيز، والنحاس، والبورون).. فإنها تتعرض للتثبيت إذا كانت إضافتها عن طريق التربة، أو مع ماء الرى؛ لأن هذه العناصر تثبت فى الأراضى القلوية، فى حين أن جميع الأراضى الصحراوية قلوية؛ لذا لا تفضل إضافة هذه العناصر عن طريق التربة إلا فى صورة مخلبية.

ويمكن إضافة ملح الكبريتات إلى هذه العناصر بطريقة الرش بمعدل ١– ١,٥ كجم مع ٤٠٠ لتر ماء للفدان. وإذا استخدمت الصورة المخلبية لهذه العناصر رشًا على الأوراق.. فإنها تستعمل بمعدل ٠,٢٥– ٠,٥٠ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

أما عنصر البورون .. فإنه يضاف دائمًا فى صورة معدنية على صورة بوراكس؛ إما عن طريق التربة بمعدل ٥–١٠ كجم للفدان، وإما رشًا على الأوراق بمعدل ١–٢ كجم فى ٤٠٠ لتر ماء للفدان.

ويمكن استبدال الأسمدة المفردة — التى سبق ذكرها — بالأسمدة المركبة وهى كثيرة جدًا. تعطى أربع رشات من هذه الأسمدة؛ تكون أولاها بعد إنبات التقاوى بنحو ثلاثة أسابيع، ثم كل ثلاثة أسابيع بعد ذلك.

الثـوم

معدلات التسميد الموصى بها فى بعض دول العالم

لإنتاج أعلى محصول من الثوم يوصى — فى مناطق مختلفة من العالم — بالتسميد بالنيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم بالمعدلات التالية (بالكيلوجرام للهكتار، وللتحويل إلى المعدلات بالكيلوجرام للفدان يُقسم على ٢,٣٨، عن Brewster & Rabinowitch ١٩٩٠).

الدولة	N	P_2O_5	K_2O
الهند	٦٠	٦٠	١٢٠
إسرائيل	٨٠– ١٢٠ قبل الزراعة + ٢ كجم يوميًا مع مياه الرى	٢٦٠– ٣٥٠	٣٢٠– ٣٨٠
إيطاليا	١٦٠	صفر	١٦٠
الولايات المتحدة (كاليفورنيا)	٨٤– ١٦٨	٨٤– ٢٢٤	–

التسميد فى الأراضى الثقيلة

يضاف السماد العضوى بمعدل ١٥– ٢٠ مترًا مكعبًا للفدان عند إعداد الأرض للزراعة، مع ١٥٠ كجم من الكبريت الزراعى. وبالإضافة إلى ذلك .. فإن الثوم يحتاج إلى ١٢٠ وحدة آزوت، و٧٥ وحدة فوسفور، و٧٢ وحدة بوتاسيوم للفدان من الأسمدة الكيميائية. ويضاف ثمن كمية الآزوت، وثلث كمية الفوسفور عند إعداد الأرض قبل الزراعة. أما باقى الكميات، فتضاف نثرًا فى باطن الخطوط أسفل النباتات على ثلاث دفعات، الأولى: بعد شهر من الزراعة ومعها ١٥٠ كجم أخرى من الكبريت الزراعى، ثم شهريًا بعد ذلك. ويراعى ألا تتأخر إضافة السماد عن ذلك، حتى تكتمل الاستفادة منه، ويتحقق الغرض من التسميد بتكوين نمو خضرى جيد قبل تكوين الأبصال.

وقد أوضحت الدراسات التى أجريت على صنف الثوم الصينى أن التسميد النيتروجينى يشجع على نمو نباتات الثوم بدرجة أكبر من التسميد الفوسفورى أو البوتاسى. وقد أدت المستويات المرتفعة من العناصر الكبرى إلى إحداث زيادة واضحة فى حجم الأبصال، والمحصول الكلى، والمحصول القابل للتسويق (Maksoud وآخرون ١٩٨٣).

التسميد فى الأراضى الرملية

يتشابه الثوم مع البصل من حيث نظام التسميد فى الأراضى الرملية، وكميات الأسمدة التى تلزم للفدان مع اختلافات بسيطة — نوضحها فيما يلى:

أولا: أسمدة تضاف قب الزراعة وتخلط بالسماد العضوى

تكون إضافة الأسمدة السابقة للزراعة نثرًا فى حالتى الرى بالغمر وبالرش، وفى باطن مصاطب الزراعة فى حالة الرى بالتنقيط. ويتم التسميد فى الحالة الأخيرة بفتح المصاطب بالمحراث، ثم وضع الأسمدة، ثم شق المصاطب القائمة مرة أخرى بالمحراث؛ لتصبح الأسمدة فى باطن المصاطب الجديدة. ويوصى بإضافة كميات الأسمدة التالية للفدان:

٤٠ م^{3} من السماد البلدى (سماد الماشية)، أو نحو ٢٠ م^{3} من السماد البلدى مع ١٠م^{3} من سماد زرق الدواجن.

٣٠ كجم نيتروجينًا (١٥٠ كجم سلفات نشادر)، و٦٠ كجم P_2O_5 (٤٠٠ كجم سوبر فوسفات عادى)، و٣٠ كجم K_2O (٦٠ كجم سلفات بوتاسيوم).

٨ كجم MgO (٨٠ كجم سلفات مغنيسيوم)، و١٥٠ كجم كبريتًا زراعيًا.

ثانيًا: أسمدة عناصر أولية تضاف عن طريق التربة، أو مع ماء الرى بعد الزراعة

توالى حقول الثوم بعد الإنبات بالتسميد بالعناصر الأولية بمعدل حوالى ١٠٠ كجم نيتروجينًا (N)، و ١٢٠ كجم بوتاسيوم (K_2O) للفدان على النحو التالى:

١- تستخدم اليوريا وسلفات الأمونيوم (بنسبة ١: ١ من النيتروجين المضاف) كمصدر للنيتروجين خلال الأسابيع الثلاثة الأولى بعد الإنبات، ثم تستخدم سلفات النشادر – منفردة – أو مع نترات الأمونيوم بعد ذلك. وتتوقف النسبة المستخدمة من النيتروجين النتراتى على درجة الحرارة السائدة؛ حيث تنتفى الحاجة إليه فى الجو الدافئ (لتحول الأمونيوم إلى نترات بسرعة فى هذه الظروف)، بينما تزيد الحاجة إليه (فى حدود ٢٥٪ – ٥٠٪ من كمية النيتروجين الكلى المضافة) فى الجو البارد.

٢- تستخدم سلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم، ويلزم – فى حالة إضافتها مع ماء الرى – عمل عجينة من السماد مع حامض النيتريك بنسبة ٤ : ١ وتركها يومًا كاملاً قبل إذابتها فى الماء، وأخذ الرائق للتسميد به.

٣- يفضل – عند اتباع نظام الرى بالتنقيط – استبدال ١٥ كجم من خامس أكسيد الفوسفور الموصى بها قبل الزراعة (١٠٠ كجم سوبر فوسفات) بكمية مماثلة – تضاف مع ماء الرى بعد الزراعة – فى صورة حامض فوسفوريك.

٤– توزيع كميات عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم المخصصة للمحصول على النحو التالي:

أ– يزداد معدل التسميد بالفوسفور (في حالة الري بالتنقيط) سريعًا، إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد نحو شهرين ونصف شهر من الزراعة، ثم تتناقص الكمية تدريجيًا إلى أن يتوقف التسميد نهائيًا قبل الحصاد بنحو شهر.

ب– يزداد معدل التسميد بالنيتروجين تدريجيًا إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد نحو ثلاثة أشهر ونصف الشهر من الزراعة، ثم تتناقص الكمية المستخدمة منه تدريجيًا إلى أن يتوقف التسميد نهائيًا قبل الحصاد بنحو ثلاثة أسابيع.

ج– يزداد معدل التسميد بالبوتاسيوم ببطء إلى أن يصل إلى أقصى معدل له بعد نحو أربعة أشهر ونصف الشهر من الزراعة، ثم تتناقص الكمية المستخدمة منه – تدريجيًا – إلى أن يتوقف التسميد بالبوتاسيوم – نهائيًا – مع توقف الري السابق للحصاد.

ه– تحسب الكمية اللازمة من جميع الأسمدة لكل أسبوع من موسم النمو – حسب مرحلة النمو النباتي – ثم تضاف بالكيفية التالية:

أ- في حالة الري السطحي

تخلط الأسمدة معًا، وتضاف – على فترات أسبوعية – سرًا إلى جانب النباتات، وعلى مسافة ٧ سم من قاعدتها.

ب- في حالة الري بالرش

تخلط الأسمدة معًا، وتضاف إلى جانب النباتات كما في حالة الري السطحي. كذلك يمكن التسميد مع ماء الري بالرش خلال النصف الثاني من حياة النبات، حينما تكون جذوره قد تشعبت في الحقل إلى درجة تسمح بأكبر استفادة ممكنة من الأسمدة المضافة التي تتوزع مع ما الري في كل الحقل.

ويلزم فى هذه الحالة تشغيل جهاز الرى بالرش أولاً بدون سماد، لمدة تكفى لبلّ سطح التربة، وبل أوراق النبات، وإلا فقد السماد بتعمقه فى التربة مع ماء الرى. يلى ذلك إدخال السماد مع ماء الرى لمدة تكفى لتوزيعه بطريقة متجانسة فى الحقل، ويعقب ذلك الرى بالرش بدون تسميد لمدة ١٠– ١٥ دقيقة؛ بغرض غسل السماد من على الأوراق، وتحريكه فى التربة، والتخلص من آثاره فى جهاز الرى بالرش.

ج- فى حالة الرى بالتنقيط

يتم التسميد مع ماء الرى بالتنقيط – عادة – ست مرات أسبوعيًا، ويخصص اليوم السابع للرى بدون تسميد. وتوزع الأسمدة المخصصة لكل أسبوع على أيام التسميد الستة بأحد النظم التالية:

(١)تخلط جميع الأسمدة المخصصة لليوم الواحد، ويسمد بها معًا، وهذا هو النظام المفضل.

(٢)يخصص يوم للتسميد الآزوتى، ثم يوم للتسميد الفوسفاتى والبوتاسى... وهكذا.

(٣)تخصص ثلاثة أيام منفصلة للتسميد الآزوتى، والفوسفاتى، والبوتاسى، ثم تعاد الدورة ... وهكذا.

ويمكن – فى حالة التسميد مع ماء الرى بالتنقيط – استبدال الأسمدة التقليدية بالأسمدة المركبة السائلة، أو السريعة الذوبان إذا كان استخدامها اقتصاديًّا. ويتوقف تحليل السماد المستخدم على مرحلة النمو النباتى؛ حيث يمكن استعمال سماد تحليله ١٩–٦–٦ لمدة شهرين بعد الزراعة (أو حوالى شهر ونصف الشهر بعد الإنبات)، يحل محله سماد تركيبه ٢٠–٥–١٥ إلى ما بعد الزراعة بنحو ٤ شهور، ثم بسماد تركيبه ١٥–٥–٣٠ إلى ما قبل الحصاد بفترة تتراوح من أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع.

يكون استخدام هذه الأسمدة بكميات تفى بحاجة النباتات من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم. ونظرًا لأن العناصر الغذائية فى تلك الأسمدة تكون جاهزة

لامتصاص النباتات مباشرة .. لذا يمكن عند استخدامها خفض كمية عنصرى النيتروجين والبوتاسيوم الموصى بها إلى ٥٠ كجم N، و٦٠ كجم K_2O للفدان. أما الفوسفور.. فتبقى الكمية التى يمكن استعمالها بعد الزراعة — وهى ١٥ كجم P_2O_5 للفدان — كما هى؛ نظرًا لأن التسميد المنفرد بالفوسفور يكون بحامض الفوسفوريك الجاهز للامتصاص السريع على أية حال.

ويكفى — عادة — نحو كيلوجرام واحد (أو لتر واحد) من تلك الأسمدة للفدان يوميًا بعد إنبات التقاوى، ثم تزداد الكمية — تدريجيًا — إلى أن تصل إلى نحو ٢–٢,٥ كجم يوميًا فى منتصف موسم النمو، ثم تتناقص — تدريجيًا — إلى أن تصل إلى كيلو جرام واحد للفدان يوميًا — مرة أخرى — قبيل فترة التوقف عن الرى التى تسبق الحصاد.

وكما فى حالة التسميد بالأسمدة التقليدية.. يلزم تخصيص يوم واحد، أو يومين — أسبوعيًا — للرى بدون تسميد؛ بهدف خفض تركيز الأملاح فى منطقة نمو الجذور.

هذا .. ويتعين عدم التسميد — مع ماء الرى — بالأسمدة التى تحتوى على أيونى الفوسفات (مثل حامض الفوسفوريك)، أو الكبريتات (مثل: سلفات الأمونيوم وسلفات البوتاسيوم) عند احتواء مياه الرى على تركيزات عالية من الكالسيوم؛ لكى لا يترسبا بتفاعلهما مع الكالسيوم.

وتوصى وزارة الزراعة (١٩٩٧) — عند التسميد مع مياه الرى بالتنقيط فى الأراضى الرملية — بإذابة السماد اللازم فى كمية من الماء تكفى لرى المساحة المطلوبة، واستخدامها فى الرى مباشرة، على أن يكون الرى بالسماد خلال يومين، ثم بالماء فقط فى اليوم الثالث، وتكرار هذه الدورة باستمرار بعد ذلك. ويحضر المحلول بإذابة مختلف أسمدة العناصر الكبرى يوميًا فى مياه الرى بالمعدلات التالية (جم/م^3 من الماء):

السماد	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس
سلفات النشادر	٤٠٠	٤٠٠	٣٥٠	٣٠٠	٣٠٠	٢٥٠
حامض الفوسفوريك	٩٥	٩٥	١٠٠	١٠٠	١٠٠	٩٠
سلفات البوتاسيوم	٦٠٠	٦٠٠	٦٥٠	٧٠٠	٧٠٠	٦٥٠

كما توصى الوزارة بزيادة كميات حامض الفوسفوريك وسلفات البوتاسيوم المذابة فى مياه الرى عندما تكون الزراعة فى الأراضى الجيرية لتصبح بالمعدلات التالية (جم/م^3 من مياه الرى):

السماد	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس
حامض فوسفوريك	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٢٠	١٢٠	١٢٠
سلفات البوتاسيوم	٧٠٠	٧٠٠	٧٠٠	٧٠٠	٦٥٠	٦٥٠

ثالثا: التسميد بالعناصر السمادية الأخرى

لا تحتاج حقول الثوم – عادة – إلى كميات إضافية من عناصر الكبريت، والمغنيسيوم، والكالسيوم التى تتوفر بكميات تفى بحاجة النبات فى الأسمدة التى سبقت الإشارة إليها. أما العناصر الصغرى (الحديد، والزنك، والمنجنيز، والنحاس، والبورون).. فيلزم التسميد بها إما فى صورة أسمدة بسيطة عادية أو مخلبية، وإما فى صورة أسمدة ورقية مركبة بنفس الكيفية التى سبق إيضاحها تحت البصل.

الفصل التاسع

تسميد الخضر الورقية

(الخس – السبانخ – الكرفس)

الخس

وسائل التعرف على حاجة النباتات إلى التسميد

أولا: أعراض نقص العناصر

النيتروجين

يؤدى نقص النيتروجين إلى ضعف النمو النباتي وتأخير تكوين الرؤوس، وتكون أوراق النباتات التى تعانى من نقص العنصر خضراء باهتة اللون، وتتحول فى نهاية الأمر إلى اللون الأصفر الذهبى.

الفوسفور

تبدو أوراق النباتات التى تعانى من نقص الفوسفور خضراء قاتمة اللون، ولكن دون بريق، وتفشل النباتات فى تكوين الرؤوس، وتتقزم، وتموت الأوراق المسنة، وقد يشوبها أحيانًا بعض الإحمرار.

ويؤدى توفر الفوسفور إلى التغلب على التأثيرات الضارة لزيادة النيتروجين.

البوتاسيوم

يؤدى نقص البوتاسيوم إلى الحد من النمو النباتي، وجعل الأوراق خضراء قاتمة اللون بدرجة أكبر من النباتات العادية ولكنها لا تكون لامعة. ومع زيادة نقص العنصر تظهر بقع صفراء اللون بالقرب من أطراف الأوراق المسنة، تزداد أعدادها وتنتشر

وتتلاحم مع بعضها البعض، ثم تصبح بنية اللون. ومن الأعراض الأخرى لنقص العنصر أن الأوراق تصبح أكثر سمكًا، واستدارة، ونعومة عن أوراق النباتات العادية، كما يكون مجموعها الجذرى أصغر حجمًا، وتفشل النباتات فى تكوين الرؤوس. كذلك يظهر الاصفرار بالأوراق الخارجية التى يمكن أن تذبل وتموت سريعًا فى الجو الصحو.

يزداد محصول الخس وتزداد نسبة المحصول الصالح للتسويق بزيادة توفر البوتاسيوم للنبات على ألاّ تكون العناصر الأخرى — وخاصة النيتروجين والفوسفور — محددة النمو.

الكالسيوم

يؤدى نقص الكالسيوم إلى تشوه حواف الأوراق الحديثة واحتراقها، ويسبق ذلك ظهور بقع بنية قاتمة إلى سوداء اللون بحواف أصغر الأوراق والقمة النامية، ثم تنتشر تلك البقع فى الأوراق الأكبر سنًّا، لتموت بالتتابع. وقد وجد أن خلايا البشرة والنسيج الوسطى، والحزم الوعائية فى المساحات المتأثرة من الأوراق تنهار، ويحدث انسداد فى أوعية الخشب بمواد صمغية، ويكون ذلك كله مصاحبًا بتقزم واضح فى النمو.

ويلعب نقص الكالسيوم دورًا رئيسيًا فى ظهور العيب الفسيولوجى المعروف باسم احتراق أطراف الأوراق leaf tipburn.

المغنيسيوم

يؤدى نقص المغنيسيوم إلى ضعف النمو كثيرًا وضعف تكوين الرؤوس، مع ظهور اصفرار فى حواف الأوراق وبين العروق، واحتراق حواف الأوراق المسنة فى نهاية الأمر.

وتؤدى زيادة التسميد بالبوتاسيوم أو الكالسيوم إلى تقليل امتصاص المغنيسيوم، ويبدو تأثير الكالسيوم واضحًا بصورة خاصة فى المستويات العالية من النيتروجين، حيث أدت زيادة الكالسيوم — فى إحدى الدراسات — إلى خفض محتوى الأوراق من المغنيسيوم — من ١,٢٪ إلى ٠,٦٪. كذلك ينخفض محتوى النبات من المغنيسيوم قليلاً مع اقترابه من اكتمال النمو.

الكبريت

يندر ظهور أعراض نقص الكبريت، بسبب استخدام ملح الكبريتات فى معظم الأسمدة، ولكن إذا ما حدث النقص فإنها تكون على صورة اصفرار عام يشوب اللون الأخضر الطبيعى للنباتات مع تقزم فى نموها، وزيادة فى صلابة أوراقها.

الحديد

تبدو النباتات التى تعانى من نقص الحديد بلون أخضر شاحب مصفر، وتكون بطيئة النمو. وبينما تكتسب الأوراق الحديثة لونًا أصفر، فإن الأوراق المسنة تموت، كما يتوقف النمو النباتى. هذا .. ويكون الاصفرار فى بداية الأمر — وخاصة فى الأوراق المسنة — محصورًا بين العروق، ولكنه قد يظهر فيما بعد — وخاصة فى الأوراق الحديثة — على العروق كذلك.

المنجنيز

يؤدى نقص المنجنيز إلى ظهور لون أخضر مصفر يشمل كل أوراق النبات، على الرغم من عدم تأثر النمو كثيرًا. وفى حالات نقص الشديدة تصبح الأوراق المسنة صفراء اللون، ولكن تبقى العروق — حتى الصغيرة جدًا منها — خضراء. وقد تتشوه أحيانًا أوراق النباتات التى تعانى من نقص العنصر، ويتجوف فيها العرق الوسطى للأوراق، وتظهر بقع متحللة غير منتظمة على امتداد العرق الوسطى، وبقع أخرى صغيرة محددة على حواف الأوراق.

الزنك

تأخذ النباتات التى تعانى من نقص الزنك مظهرًا متوردًا ويتوقف نموها. وفى بداية الأمر تظهر مناطق متحللة ذات حواف داكنة بالقرب من حواف الأوراق، وخاصة بين العروق، وتنتشر الأعراض من الأوراق المسنة إلى الحديثة.

النحاس

تكون أوراق النباتات التى تعانى من نقص النحاس ضيقة وفنجانية الشكل، مع اصفرارها قليلاً على امتداد الحواف.

البورون

يؤدى نقص البورون إلى ضعف النمو وبهتان لون الأوراق الحديثة، ثم ظهور بقع قاتمة فى أطراف الأوراق الصغيرة تزداد فى المساحة والحجم وتنتشر على حواف الأوراق. كذلك تموت القمة النامية للنباتات وتصبح سوداء اللون، وتتشوه الأوراق بسبب توقف النمو فى حوافها. ومن الأعراض الأخرى المميزة لنقص العنصر أن الأوراق تكون صغيرة الحجم، وفنجانية الشكل، وسميكة، وسهلة التكسر، كما تظهر على الأوراق الحديثة بقع بنية اللون وإفرازات شمعية. وتكون الجذور فى النباتات التى تعانى من نقص البورون قصيرة وسميكة وتكون القمة النامية فيها بنية اللون. وتحت ظروف الحقل تموت البادرات وتموت القمة النامية للنباتات، ويظهر اصفرار بأوراق القلب.

الموليبدنم

تبدو النباتات التى تعانى من نقص الموليبدنم صغيرة، وشاحبة اللون (ضاربة إلى البياض)، وذات نمو سائب ومفتوح. ومع استمرار النقص تلتف الأوراق، وتحترق حوافها. تكون بداية ظهور الأعراض فى الأوراق المسنة ثم تتقدم تدريجيًا نحو الأوراق الأحدث تكوينًا، وتذوى النباتات وتموت فى خلال ٣٠– ٣٥ يومًا.

ونظرًا لأن الموليبدنم يدخل فى تكوين الإنزيم nitrate reductase؛ لذا.. فإن النيتروجين النتراتى يميل إلى التراكم فى النباتات التى تعانى من نقص العنصر، فمثلاً.. وجد فى إحدى الدراسات أن محتوى العصير الخلوى لأوراق الخس من النيتروجين النتراتى تراوح بين ٤٢، و٤٨ مجم/ لتر عند نقص الموليبدنم، بينما كان ١٢– ١٤ مجم/لتر عند توفره.

ثانيًا: تحليل النبات

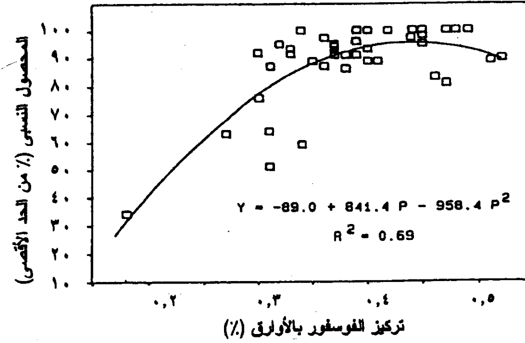
يمكن التعرف على حاجة نباتات الخس من الأسمدة بتحليل العرق الوسطى للأوراق المحيطة بالرأس خلال مرحلة تكوين الرؤوس، حيث يدل وجود النيتروجين (على صورة NO_3) بتركيز ٤٠٠٠ جزء فى المليون، والفوسفور (على صورة PO_4) بتركيز ٢٠٠٠ جزء فى المليون، والبوتاسيوم بتركيز ٢٪ على أن النباتات تعانى — بالفعل — من نقص فى هذه العناصر، تكون له انعكاساته السلبية على المحصول. وتدل تركيزات ٨٠٠٠ جزء فى المليون، و٤٠٠٠ جزء فى المليون، و٤٪ للعناصر الثلاثة — على التوالى — على توفرها للنبات بكميات كافية. وتستجيب النباتات للتسميد إذا كان تركيز العناصر فيما بين حدود النقص، والوفرة.

النيتروجين

يزداد تركيز النيتروجين فى أوراق القلب عمّا فى الأوراق الخارجية. ويرتبط النمو النباتى القوى — عند عمر ٦٠ يومًا — بتركيز ٥,٤٪ – ٥,٧٪ للنيتروجين بالأوراق، بينما يصاحب تركيز ٣٪، و٣,٦٪ أعراضًا خفيفة ومتوسطة — على التوالى — لنقص النيتروجين فى النباتات المكتملة التكوين.

الفوسفور

يزداد تركيز الفوسفور فى النبات بزيادة معدل التسميد الفوسفاتى، وينخفض بتقدم النباتات فى العمر، ويرتبط الوزن الجاف لنباتات الخس الصغيرة معنويًا بمحتوى أوراقها من الفوسفور (r = ٠,٩١) (شكل ٩–١). ويتراوح محتوى الأوراق من العنصر بين ٠,٤١٪ فى أكبر الأوراق عمرًا إلى ٠,٦٧٪ فى أصغرها، وليس لدرجة الحرارة الدنيا بين — ١، و١٠°م – تأثيرًا على ذلك المحتوى.



شكل (٩–١): العلاقة بين محصول الخس ومحتوى الأوراق من الفوسفور (Sanchez وآخرون ١٩٩٠).

وتتراوح القيم المنشورة لمحتوى الفوسفور فى أوراق النباتات الجيدة النمو بين ٠,٣٤٪، و٠,٧٤٪، بينما تكون أغلب القيم بين ٠,٤٪، و٠,٦٪ وتكون القيم الأكبر فى النباتات الصغيرة العمر، وقد وصلت بعض التقديرات إلى ٠,٨٪ إلا أن ذلك ليس أمرًا شائعًا.

وقد اقترنت أعراض النقص الشديدة للفوسفور بتركيزات منخفضة من العنصر فى الأوراق تراوحت بين ٠,١، و٠,٢٪. وفى إحدى الدراسات قدر المستوى الحرج للعنصر – الذى صاحبه نقص فى النمو النباتى بنسبة ١٠٪ – بنحو ٠,٠٧٨٪ فى أنصال الأوراق، و٠,٠٦٠٪ فى أنسجتها الناقلة (العرق الوسطى والعنق). وفى تقديرات أخرى قدر المستوى الحرج الذى لا يجب أن يقل عنه تركيز العنصر بنحو ٠,١٪ فى قمة البادرات، وبنحو ٠,٢٪ فى العرق الوسطى (Winsor & Adams ١٩٨٧).

وفى إحدى الدراسات كان التركيز الحرج للفوسفور فى مرحلة الورقة السادسة إلى الثامنة هو ٠,٣٧٪ (Sanchez وآخرون ١٩٩٠).

وفى دراسة أخرى .. تراوح المدى المناسب للفوسفور فى الأوراق – لإعطاء أعلى محصول – بين ٠,٤٪، و٠,٩٪ (Claassens ١٩٩٤).

البوتاسيوم

يزداد تركيز البوتاسيوم فى النبات بزيادة توفر العنصر. وقد تراوح المدى الطبيعى للبوتاسيوم فى النباتات الجيدة النمو — فى دراسات مختلفة — بين ٤٪ و١٠٪. وازداد الوزن الجاف لنباتات الخس بزيادة محتواها من البوتاسيوم حتى ٤٪، ولكن لم تظهر تلك العلاقة بزيادة محتوى العنصر فى النباتات عن ٤٪ وحتى ٨٪.

وقد قدر المستوى الحرج للبوتاسيوم — الذى يصاحبه نقص المحصول بنسبة ١٠٪ — ٣٠٪ — بنحو ٢٪.

الكالسيوم

تراوح محتوى أوراق الخس من الكالسيوم بين ٠,٨٪، و٢,٩٪، حسب تركيز العنصر فى المحاليل المغذية للمزارع اللاأرضية فيما بين التركيزات الشديدة الانخفاض وتركيز ٨٠٠ جزء فى المليون. وقد صاحبت تلك الزيادة فى مستوى الكالسيوم فى النباتات انخفاضًا فى محتواها من الفوسفور. وأدت زيادة درجة الحرارة الدنيا من — ١°م إلى ١٠°م إلى زيادة محتوى الأوراق المسنة من العنصر من ١,٣٥٪ إلى ٢,٧٢٪. وفى الأوراق الحديثة من ٠,٢٦٪ إلى ٠,٣٣٪. وأدت الإضاءة القوية إلى زيادة امتصاص النباتات للكالسيوم بزيادة تركيزه فى المحاليل المغذية.

وتتراوح تقديرات المستوى الطبيعى للكالسيوم فى النباتات التى لا تعانى من نقص العنصر بين ١٪، و١,٨٪ وينخفض تركيز الكالسيوم فى نبات الخس مع تقدمه فى العمر.

أما النباتات التى تعانى من نقص الكالسيوم فإن تركيز العنصر يتراوح فيها بين ٠,٢٪، و٠,٦٪. هذا بينما ينخفض معدل النمو فقط — دون أعراض ظاهرة — عند تركيز ٠,٩٪ فى النبات.

المغنيسيوم

يقدر المحتوى الطبيعى للخس من المغنيسيوم بين ٠,٣٪، و٠,٩٪، بينما يتراوح مستوى النقص — الذى تظهر معه أعراض نقص العنصر بين ٠,٠٥٪، و٠,٢٪.

ويزداد تركيز المغنيسيوم فى الأوراق الخارجية لنبات الخس عما فى الأوراق الداخلية، حيث يتراوح فيهما — على التوالى — كما وجد فى إحدى الدراسات — بين ٠,٥٢٪، و٠,٣٠٪ وتبعًا لذلك .. فإن مستوى نقص العنصر يتباين فيهما كذلك.

ويزداد تركيز المغنيسيوم فى أوراق الخس بارتفاع درجة حرارة الليل، حيث قدر بنحو ٠,٦٠٪، و٠,٧٠٪، و٠,٨١٪ فى حرارة ٧، و ١٣، و١٨°م على التوالى.

الكبريت

ويقدر المحتوى الطبيعى للنباتات التى لا تعانى من نقص العنصر بحوالى ٠,٢٩٪ كبريت كلى ، أو ٠,١٣٪ كبريت فى صورة كبريتات.

الحديد

يتراوح محتوى النباتات التى تظهر عليها أعراضًا واضحة لنقص الحديد بين ٥٠، و٦٠٠ جزءًا فى المليون، بينما يتراوح المحتوى فى النباتات الطبيعية النمو بين ١٣٠، و١٤٥٠ جزءًا فى المليون؛ مما يعنى وجود تداخل واضح بين مستوى النقص ومستوى الكفاية، وبما يعنى عدم جدوى الاعتماد على تحليل الحديد فى النبات إلاّ فى الحالات التى يكون فيها مستواه شديد الانخفاض.

المنجنيز

يتراوح محتوى المنجنيز فى الخس الذى تظهر عليه أعراض نقص العنصر بين ٦ أجزاء، و١٤ جزءًا فى المليون على أساس الوزن الجاف.

وتظهر أحيانًا أعراض التسمم بالمنجنيز، وخاصة فى الزراعات المحمية التى تعقم فيها التربة — أو مخاليط الزراعة التى تدخل فيها التربة— بالبخار، ذلك لأن التعقيم بالبخار يمكن أن يؤدى إلى تيسر كميات كبيرة من المنجنيز غير الذائب. وتظهر أعراض التسمم على صورة تلون ذهبى يمتد على حواف جميع الأوراق. وتختلف أصناف الخس فى مدى حساسيتها لزيادة المنجنيز.

الزنك

يتراوح المحتوى الطبيعى للزنك بين ٢٠، و٥٠ جزءًا فى المليون، مع زيادة التركيز فى النصل (بدون العرق الوسطى) عما فى العرق الوسطى.

ويقدر محتوى العنصر الذى يحدث عنده نقص فى المحصول يبلغ حوالى ١٠٪ بنحو ١٠ أجزاء فى المليون فى العرق الوسطى، وبنحو ٢٠ جزءًا فى المليون فى النصل بعد استبعاد العرق الوسطى.

النحاس

يقدر المستوى الطبيعى للنحاس فى الخس بحوالى ٧ أجزاء فى المليون، ولكن المدى الطبيعى يتراوح بين ٣ أجزاء، و١٧ جزءًا فى المليون، هذا بينما يبلغ محتوى النباتات التى تعانى من نقص العنصر أقل من جزأين فى المليون. وبينما لا يؤدى نقص العنصر حتى مستوى ٢,٤ جزءًا فى المليون بالأوراق إلى نقص المحصول الكلى، فإنه يؤدى إلى نقص المحصول الصالح للتسويق بشدة.

البورون

يتراوح المحتوى الطبيعى للبورون فى النباتات بين ٣٠، و٥٠ جزءًا فى المليون.

هذا بينما يقدر محتوى البورون فى النباتات التى تظهر عليها أعراض نقص العنصر بين ١٠، و٢٥ جزءًا فى المليون.

الموليبدنم

يقدر التركيز الطبيعى للموليبدنم فى أوراق الخس بنحو ٢,٥– ٣,٥ جزء فى المليون، بينما ينخفض التركيز عند نقص العنصر إلى حوالى ٠,٣– ٠,٥ جزء فى المليون (Winsor & Adams ١٩٨٧).

ثالثا: تحليل التربة

عندما تراوح محتوى التربة من النيتروجين بين ٠,٠٦٪، و٠,١٨٪.. أدت إضافة النيتروجين حتى ١٠٠ كجم للهكتار (٤٢ كجم للفدان) إلى زيادة المحصول، بينما لم تستفد نباتات الخس من التسميد الآزوتى عندما كان محتوى التربة من العنصر ٠,٧٪ (Martinetti ١٩٩٦).

وقد أوضحت دراسات Hartz وآخرون (٢٠٠٠) ضعف الارتباط بين محتوى العرق الوسطى من النيتروجين النتراتى فى المرحلة السابقة لبداية تكوين الرؤوس وبين مستوى النترات فى التربة، واستنتجوا أن اختبار النترات لعينات من التربة من على جانب النباتات كان دليلاً يمكن الاعتماد عليه فى تحديد مدى الحاجة إلى التسميد الآزوتى، أو تأجيل التسميد، أو حتى وقفه دون التأثير على المحصول.

هذا .. ومن السهل أن تتسمم نباتات الخس من جراء زيادة تركيز العناصر الصغرى فى الأسمدة الورقية أو فى التربة أو بيئة الزراعة، وخاصة فى المحاليل المغذية التى تستخدم فى المزارع المائية للخس فى عديد من دول العالم.

ومن أهم المشاكل التى تتعلق بسمية العناصر الصغرى، ما يلى:

الزنك

يُحدِث رش نباتات الخس بالزنك المخلبى Zn-EDTA بتركيز ٢٤٠٠ جزءًا فى المليون تسممًا بالنباتات يظهر على صورة اصفرار بالأوراق، ثم ذبولها وموتها. وأحيانًا يؤدى التسمم إلى جعل الأوراق فنجانية الشكل وقائمة إلى أعلى، مع فشل النبات فى تكوين الرأس.

النحاس

تؤدى التركيزات العالية من النحاس فى بيئة الزراعة إلى التسمم بالعنصر، ويبلغ المستوى الحرج للنحاس فى النبات – والذى يحدث عنده التسمم – حوالى ٢١ جزءًا فى المليون.

البورون

من السهل أن تتسمم نباتات الخس من جراء زيادة البورون، علمًا بأن الحدود بين التركيزات السامة للعنصر فى بيئة الزراعة والتركيزات المناسبة ليست كبيرة، فمثلاً.. قدر التركيز المثالى للبورون فى المحلول المغذى — فى إحدى الدراسات بنحو ٠,٧ جزءًا فى المليون، بينما أحدث تركيز ٠,٩ جزءًا فى المليون اصفرارًا خفيفًا بالأوراق. وتظهر أعراض التسمم بوضوح عندما يزيد تركيز البورون فى المحلول المغذى عن ١,٢ جزءًا فى المليون، حيث يحدث احتراق بحواف الأوراق، مع زيادة فى تركيز البورون فى الأوراق قد تصل إلى ٥٠٠ جزء فى المليون.

وقد وجد أن المحصول النسبى ينخفض بمقدار ١,٧٪ مع كل زيادة مقدارها جزء واحد فى المليون من البورون فى المحلول الأرضى تزيد عن ١,٣ جزءًا فى المليون، وكانت أعراض احتراق حواف الأوراق — الناشئة عن التسمم من البورون — محصورة فى الأوراق الخارجية، وهى التى تتم إزالتها بعد الحصاد على أية حال (Francois ١٩٨٨).

الموليبدنم

كان نمو الخس عاديًا ومنتظمًا عندما تراوح تركيز الموليبدنم فى المحاليل المغذية بين ٠,٠٠١، و١٠ أجزاء فى المليون، بينما ظهرت أعراض التسمم عندما ارتفع التركيز إلى ١٠٠ جزء فى المليون. وكانت أولى أعراض التسمم ظهور لون بنى ضارب إلى الصفرة على الجذور، مع ضعف فى النمو، وتغير فى لون الأوراق إلى اللون الذهبى (عن Winson & Adams ١٩٨٧).

ويتوقف تيسر الموليبدنم للنباتات — إلى حد بعيد — على pH وسط النمو، حيث يزيد تيسر العنصر فى الأراضى المتعادلة والقلوية عما فى الحامضية.

الاحتياجات السمادية

يميل المزارعون — عادة — إلى إضافة النيتروجين بكميات أكبر من تلك الموصى بها؛ ففى ولاية أريزونا الأمريكية — على سبيل المثال — يسمد المزارعون الخس بنحو ٢٢٤– ٣٧٠ كجم N للهكتار (٩٤– ١٥٥ كجم للفدان)، بينما تقل الكميات الموصى بها عن ذلك.

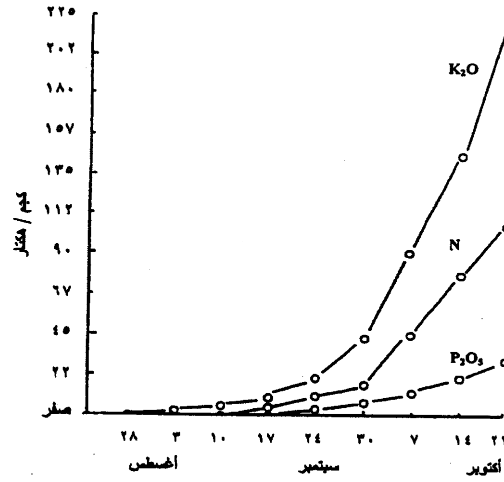
يقل الامتصاص الكلى للنيتروجين فى حقول الخس عن ١٣٦ كجم N للهكتار (٥٧ كجم N للفدان)، علمًا بأن معظم النمو النباتى يحدث قبل الحصاد بفترة وجيزة، وهى الفترة التى يُمتص فيها معظم النيتروجين كذلك. وتتراوح تقديرات كلاً القياسين (النمو النباتى وامتصاص النيتروجين كنسبة مئوية من النيتروجين الكلى الممتص) بين ٧٠٪، و٨٠٪ خلال الأسابيع الثلاثة والأربعة الأخيرة التى تسبق الحصاد، على التوالى.

وتؤدى إضافة كميات كبيرة من النيتروجين — وخاصة فى المواعيد غير المتوافقة مع معدلات الامتصاص العالية — إلى بقاء نسبة كبيرة من النيتروجين المضاف فى التربة، مع تعرض النيتروجين النتراتى للفقد بسهولة. فمثلاً.. قدر — فى إحدى الدراسات — أن ٦٥٪ من النيتروجين المستعمل فى تسميد الخس فى جنوب كاليفورنيا يُفقد الرشح إلى أعماق تزيد عما يصل إليه نمو الجذور (Thompson & Doerge ١٩٩٥).

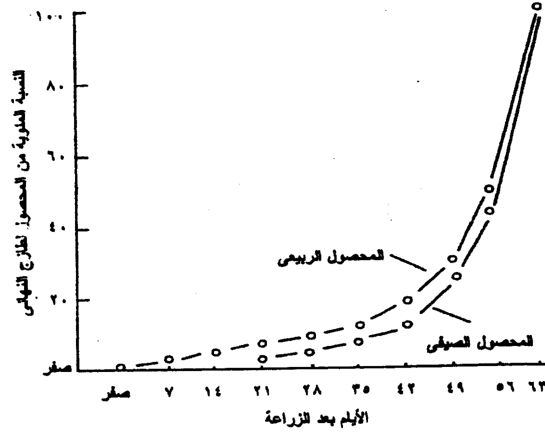
وقد تراوحت تقديرات الكمية المثلى للتسميد بالنيتروجين بين ١٠٠، و١٥٠ كجم للهكتار (٤٢– ٦١ كجم للفدان)، وما لا يقل عن ٢٥٠ كجم للهكتار (١٠٥ كجم للفدان)، وذلك باختلاف الدراسات (عن Hartz وآخرين ٢٠٠٠).

وأدى توفر ١٥٠ كجم من النيتروجين للهكتار (٦٣ كجم للفدان) فى حيز نمو الجذور (تسميد آزوتى + N بالتربة) إلى إعطاء أعلى محصول صالح للتسويق من الخس (Sorensen وآخرون ١٩٩٤).

كما وجد فى دراسة خاصة بامتصاص العناصر فى نباتات خس الرؤوس ذات الأوراق القصمة من صنف جريت ليكس أن نحو ٧٠٪ من الكميات الإجمالية الكلية الممتصة من عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والصوديوم تمتص خلال الأسابيع الثلاثة التى تسبق الحصاد (شكل ٩-٢)؛ الأمر الذى يتوافق — كذلك — مع معدل النمو النباتى (شكل ٩-٣).



شكل (٩-٢): التزايد فى معدلات امتصاص عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم مع الوقت فى الخس.



شكل (٩-٣): التزايد فى معدلات نمو نباتات الخس مع الوقت.

وفى الخس الرومين امتصت النباتات أكثر من ٧٤٪ من احتياجاتها من النيتروجين خلال الـ ٣٨ يومًا التى سبقت الحصاد (Thompson & Doerge ١٩٩٥).

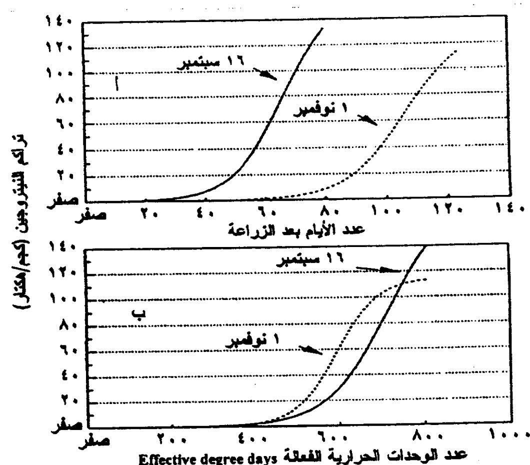
ويستفاد من تلك النتائج فى عملية توقيت إضافة الأسمدة. وخاصة فيما يتعلق بالنيتروجين، الذى يمكن أن يفقد بسهولة، وبالأخص عند إضافة كميات كبيرة منه فى مراحل النمو الأولى، بينما تزداد الحاجة الماسّة إليه فى مراحل النمو الأخيرة.

ازداد محصول الخس بزيادة معدل التسميد بالنيتروجين حتى ١٦٠- ١٩٥ كجم N للهكتار (٦٧- ٨٢ كجم للفدان)، ثم انخفض المحصول بزيادة النيتروجين عن ذلك، وأعطى هذا المدى — كذلك — أكبر الرؤوس حجمًا وصلابة، إلا أن طول الساق الداخلى والإصابة باحتراق قمة الأوراق الداخلية كانا أقل ما يمكن عندما كان التسميد الآزوتى بمعدل ٥٥ كجم/ هكتار (٢٣ كجم N/فدان) (Cantliffe وآخرون ١٩٩٨).

يفضل دائمًا إضافة النيتروجين بمعدلات تتناسب مع معدل امتصاص العنصر فى كل مرحلة من مراحل نمو النبات، وبغير ذلك فإن الكميات الزائدة عن حاجة النبات لن تمتص وتكون عرضة للفقد بسهولة.

وعلى الرغم من إمكان تحديد حاجة النبات من النيتروجين خلال مختلف مراحل نموه بالكيلوجرام للفدان بعد كل عدد معين من الأيام من الزراعة، إلا أنه يفضل ربط الاحتياجات بعدد الساعات الحرارية أو بنظام يأخذ فى الحسبان كلاً من الحرارة وشدة الإضاءة أو الفترة الضوئية، أو ما يعرف بمجموع الحرارة والإشعاع الشمسى summations of temperature and solar radiation الذى يُعبِّر عنه بالمصطلح "عدد الوحدات الحرارية الفعالة" effective degree days (اختصارًا EDD). ويبين الشكل (٩-٤) نمط امتصاص النيتروجين فى الخس فى موعدين للزراعة بكاليفورنيا. ويلاحظ من الشكل أنه بينما تأخرت كثيرًا بداية امتصاص النيتروجين عندما كانت الزراعة فى الجو البارد (١ نوفمبر) مقارنة بنمط امتصاص العنصر عندما كانت الزراعة فى الجو الدافئ (١٦ سبتمبر) — وذلك عندما أجريت المقارنة على أساس عدد الأيام بعد الزراعة — فإن تلك الاختلافات تلاشت عندما أجريت المقارنة على أساس عدد الوحدات الحرارية الفعالة (Sanchez & Doerge ١٩٩٩).

وعندما كان الرى تحت السطحى للخس معتدلاً (بالمحافظة على الشد رطوبى فى التربة بين ٦,٥، و ٧,٤ كيلو باسكال)، فإن ٩٥٪ من أعلى محصول وجودة (طول الرأس، ووزنها الطازج) تحقق عندما كانت معدلات التسميد بين ١٥٦، و١٩٣ كجم N للهكتار (٦٥,٥- ٨١ كجم N للفدان)، علمًا بأن كمية النيتروجين التى لم تمتص كانت أقل من ٦٠ كجم للهكتار (٢٥ كجم N للفدان). أما عندما كان الرى غزيرًا (بالمحافظة على شد رطوبى قدره ٤,٦ كيلو باسكال) فإن ذلك أدى إلى نقص المحصول وضعف جودته، وزيادة كمية النيتروجين التى لم تمتص. كذلك ازداد الفاقد غير الممتص من النيتروجين بزيادة معدل التسميد الآزوتى (Thompson & Doerge ١٩٩٥).



شكل (٩-٤): تراكم النيتروجين فى نباتات الخس فى الزراعتين الربيعية والصيفية مع (أ) عدد الأيام بعد الزراعة، و(ب): عدد الوحدات الحرارية الفعالة effective degree days (Sanchez & Doerge ١٩٩٩).

وفى دراسة أجريت فى تربة رملية مع الرى بالتنقيط حُصِلَ على أعلى محصول من الخس عندما كان الرى بمعدل ٥٥ سم (أى ٢٣١٠ م³/ فدان) مع التسميد الآزوتى بمعدل ٢٧١ كجم للهكتار (١١٤ كجم N للفدان)، والرى بمعدل ٧٦ سم (أى ٣١٩٣م³/فدان) مع التسميد الآزوتى بمقدار ٢٧٠ كجم للهكتار (١١٣,٤ كجم N للفدان) فى عامين متتاليين. وتحت تلك الظروف.. لم يصل إلى النموات التى توجد أعلى سطح التربة من الخس سوى ١٢٪، و٢٣٪ من الكميات الإجمالية المضافة من النيتروجين فى عامى الدراسة، على التوالى (Sanchez ٢٠٠٠).

ويزداد معدل امتصاص النيتروجين النتراتي والأمونيومي بارتفاع درجة الحرارة، ولكن الزيادة تكون أكبر بالنسبة للنيتروجين النتراتي.

وللتعرض للنيكل تأثير إيجابي على أيض النيتروجين في عديد من النباتات التي تعتمد على اليوريا كمصدر للنيتروجين. وفي الخس أحدثت المعاملة بالنيكل زيادة جوهرية في نشاط إنزيم اليوريز urease وأنقصت محتوى النموات الخضرية من اليوريا، وتراكم بأوراقها تركيزات أقل من النترات، مقارنة بما حدث في النباتات التي لم تُعامل بالنيكل. وقد تأثرت فاعلية التسميد بمعقد اليوريا مع النيكل — فيما يتعلق بزيادة الوزن الطازج للنمو النباتي وأيض النيتروجين — بنبات الخس (Hosseini & Khoshgoftarmanesh ٢٠١٣).

هذا.. ويؤدى توفر الفوسفور إلى زيادة المحصول المبكر، ففى إحدى الدراسات لم يزدد المحصول الكلى بزيادة معدل الفوسفور عن ٥٨ كجم P للهكتار (٥٥,٨ كجم P_2O_5 للفدان)، بينما حُصِلَ على أبكر محصول بالتسميد بمعدل ٢٣٥ كجم P للهكتار (٢٢٦,٢ كجم P_2O_5 للفدان) (عن Winsor & Adams ١٩٨٧).

وقد استفاد الخس من إضافة الفوسفور إلى جانب النباتات فى خطوط الزراعة بدلاً من إضافته نثرًا، وبمعدل يعادل ثلث الكمية التى تضاف — عادة — نثرًا قبل الزراعة، حيث أدت إضافته بهذه الطريقة إلى زيادة الفوسفور الميسر للامتصاص فى منطقة نمو الجذور. وقد ازداد تركيز الفوسفور بالأوراق بزيادة معدل التسميد الفوسفاتى، وخاصة عند إضافته إلى جانب النباتات فى خطوط الزراعة (Sanchez وآخرون ١٩٩٠).

ووجد أن خاصية الـ crunchiness (حدوث صوت للمضغ) تزداد فى أوراق نباتات الخس التى تُعطى نترات الكالسيوم كمصدر للنيتروجين، مقارنة بما يكون عليه الحال عندما تكون نترات البوتاسيوم أو نترات الأمونيوم مصدرًا للعنصر عند التسميد (Simmone وآخرون ٢٠٠١).

برنامج التسميد

تجب عند تسميد الخس مراعاة ما يلي:

١- إضافة الأسمدة إلى الطبقة السطحية من التربة؛ لأن معظم جذور الخس سطحية.

٢- إضافة الأسمدة العضوية بوفرة للمحافظة على خصوبة الأرض، لأن الخس لا يخلف كثيرًا من المادة العضوية في التربة.

٣- ضرورة توفر الأسمدة للنبات خلال جميع مراحل نموه، حتى يكون النمو مستمرًا دون توقف؛ لما لذلك من تأثير إيجابي على صفات الجودة.

٤- عدم الإفراط في التسميد الآزوتي، عندما تكون الظروف البيئية مناسبة للنمو السريع حتى لا تتعرض النباتات للإصابة باحتراق حواف الأوراق، أو أثناء نمو الرؤوس حتى لا تكون مفككة.

وتعطى حقول الخس برنامج التسميد التالي:

أولا: أسمدة تضاف قبل الزراعة

تضاف كميات الأسمدة التالية قبل الزراعة لكل فدان من الخس: ١٥م^{3} سمادًا بلديًا، و١٠م^{3} زرق دواجن، و٢٠ كجم N (١٠٠ كجم سلفات نشادر)، و٤٥ كجم P_2O_5 (٣٠٠ كجم سوبر فوسفات عاديًّا)، و ٢٥ كجم K_2O (٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم)، و٥ كجم (MgO (٥٠ كجم سلفات مغنيسيوم). تكون إضافة هذه الأسمدة نثرًا، وتخلط جيدًا بالطبقة السطحية من التربة، أو بمصاطب الزراعة إن كانت الزراعة على مصاطب كما في طريقتي الري بالرش وبالتنقيط.

ثانيًا: أسمدة تضاف أثناء النمو النباتي

١- في حالة الري بطريقة الغمر

يضاف أثناء النمو النباتي ٦٥ كجم نيتروجين (١٥٠ كجم نترات نشادر + ١٠٠ كجم نترات كالسيوم)، و٥٠ كجم K_2O (١٠٠ كجم سلفات بوتاسيوم) على دفعتين،

على أن تكون الأولى بعد الشتل بنحو ثلاثة أسابيع (أو بعد إنبات البذور بنحو خمسة أسابيع فى حالة الزراعة بالبذور مباشرة)، والثانية بعد حوالى شهر من الأولى، ومع إضافة نترات الكالسيوم مع الدفعة الثانية من التسميد.

٢- فى حالة الرى بطريقة التنقيط

تستعمل فى حالة الرى بالتنقيط كميات الأسمدة التى أسلفنا بيانها تحت الرى بالغمر، مع مراعاة تقسيمها إلى دفعات أسبوعية متزايدة ابتداء من الأسبوع الثانى بعد الشتل (أو الأسبوع الرابع بعد إنبات البذور فى حالة الزراعة بالبذور مباشرة) على أن تصل الجرعة الأسبوعية إلى أقصى معدل لها بعد حوالى خمسة أسابيع من الشتل، وتبقى عند هذا المستوى المرتفع لمدة أسبوعين، لتنخفض تدريجيًّا بعد ذلك إلى أن يتوقف التسميد قبل الحصاد بأسبوع أو أسبوعين. ويوصى بالتسميد بالكمية الموصى بها من نترات الكالسيوم بداية من الأسبوع الخامس بعد الشتل.

٣- فى حالة الرى بالرش

يتبع فى حالة الرى بالرش برنامج التسميد ذاته الذى أسلفنا بيانه تحت الرى بالتنقيط، مع زيادة كميات الأسمدة الموصى بها بنسبة ٢٥٪ - ٣٠٪ لتعويض الفاقد فى الأسمدة الذى يصاحب الرى بالرش، وخاصة فى بداية موسم النمو وهى ما زالت صغيرة.

وفى جميع الحالات .. يحتاج الخس إلى رشتين بالأسمدة الورقية التى تحتوى على العناصر الدقيقة، ويكون ذلك بعد ٣ أسابيع من الشتل (أو بعد خمسة أسابيع فى حالة الزراعة بالبذور مباشرة)، ثم بعد شهر من الرشة الأولى.

السبانخ

الحاجة إلى العناصر

تستجيب السبانخ للتسميد فى الأراضى الفقيرة. ويمكن الاستدلال على حاجة النباتات للتسميد بتحليل أعناق الأوراق الصغيرة المكتملة النمو؛ فهى تستجيب عندما

يتراوح تركيز النيتروجين النتراتي بها بين ٤٠٠٠ و ٨٠٠٠ جزء في المليون، والفوسفور (على صورة PO_4) بين ٢٠٠٠ و٤٠٠٠ جزء في المليون ، والبوتاسيوم بين ٢٪ و٤٪. ويدل الحد الأدنى على المستوى الذى تظهر عنده أعراض نقص العنصر، بينما يدل الحد الأعلى على توفر العنصر للنباتات بما يكفى حاجتها. وتتراوح الاحتياجات السمادية للسبانخ بين ٢٥ و٧٥ كجم نيتروجينًا، و٥٠ و١٠٠ كجم P_2O_5، و٥٠ و١٠٠ كجم K_2O للفدان.

وقد أدت زيادة نسبة النيتروجين الأمونيومى فى المحلول المغذى للسبانخ عن ٧٥٪ إلى ضعف النمو النباتي، وبالعكس.. كان النمو أفضل ما يمكن عندما زادت نسبة النيتروجين النتراتى عن ٧٥٪ (Ota & Kagawa ١٩٩٦).

ووجد ارتباط سالب بين مستوى التسميد الآزوتى وبين متانة أوراق السبانخ toughness وصلابتها stiffiness وقوتها strength. وقد كانت الأوراق الصغيرة (الأوراق أرقام ١٢- ١٦) فى جميع مستويات النيتروجين أكثر متانة عن الأوراق الأكبر سنًا (الأوراق ٦-٨). كذلك وجد أن أوراق النباتات التى تلقت مستويات منخفضة من النيتروجين احتوت على تركيزات أعلى من كل من المواد غير الذائبة فى الكحول والبكتينات، وكانت خلاياها والمسافات البينية أصغر حجمًا عما فى أوراق النباتات التى تلقت مستويات مرتفعة من العنصر. وتبين أن التسميد بمستويات عالية من النيتروجين ارتبط جوهريًا بزيادة رهافة الأوراق وسهولة قصمها بعد الحصاد (Gutièrrez-Rodriguez وآخرون ٢٠١٣).

وكان النمو عند نقص البوتاسيوم وتوفر الصوديوم طبيعيًا وأفضل قليلاً من النمو عند توفر البوتاسيوم فقط، هذا بينما عانت النباتات التى لم يتوفر لها البوتاسيوم بالقدر الكافى — مع عدم توفر الصوديوم — مع أعراض نقص البوتاسيوم، وكان نموها أضعف من نمو نباتات الكنترول التى توفر لها البوتاسيوم فقط (Takahashi وآخرون ١٩٩٧).

وتظهر أعراض نقص المنجنيز في السبانخ على صورة اصفرار يبدأ من قمة الأوراق ثم يتقدم ليشمل كل نصل الورقة، ولكن يدوم اللون الأخضر لفترة أطول في العروق الرئيسية بالأوراق. يلي ذلك ظهور بقع ميتة صفراء بين العروق. وتتشابه تلك الأعراض — إلى حد ما — مع أعراض الإصابة بالمرض الفيروسي "اصفرار السبانخ"، الذي يسببه فيرس موزايك الخيار (Purvis & Carolus ١٩٦٤).

برنامج التسميد

تعطى حقول السبانخ برنامج التسميد التالي:

أولا: أسمدة تضاف قبل الزراعة

تسمد حقول السبانخ بنحو ١٠م^3 سمادًا بلديًا، و٥م^3 زرق دواجن، و٢٠ كجم N (١٠٠ كجم سلفات نشادر)، و ٣٠ كجم P_2O_5 (٢٠٠ كجم سوبر فوسفات عاديًا). و٢٠ كجم K_2O (٤٠ كجم سلفات بوتاسيوم)، و ٥ كجم MgO (٥٠ كجم سلفات مغنيسيوم)، و٥ كجم بوراكس للفدان. تضاف هذه الكميات نثرًا، وتخلط جيدًا بالطبقة السطحية من التربة أثناء إعداد الحقل للزراعة.

ثانيا: أسمدة تضاف بعد الزراعة

تتوقف كميات الأسمدة التي تضاف بعد الزراعة ومواعيد إضافتها على الطريقة المتبعة في ري المحصول، كما يلي:

١- في حالة الري بالغمر

تسمد حقول السبانخ بعد الإنبات بنحو ٣٠ كجم N، و٣٠ كجم K_2O للفدان. تستخدم نترات الأمونيوم كمصدر للنيتروجين، بينما تستعمل سلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم. تضاف هذه الأسمدة نثرًا بين خطوط الزراعة، على ثلاث دفعات متساوية بعد ٢، و٤، و٦ أسابيع من الإنبات، كذلك تحتاج حقول السبانخ إلى رشة أو رشتين بالأسمدة الورقية المحتوية على العناصر الدقيقة بعد ٣، و٥ أسابيع من الإنبات.

وإذا حشت حقول السبانخ ثم تركت لتجدد نمواتها.. فإنه تلزم إضافة نصف كميات الأسمدة السابقة (أى ١٥ كجم N، و١٥ كجم K_2O للفدان) بعد كل حشة، مع إعطاء النباتات رشة بالأسمدة الورقية بعد أن تبدأ فى تجديد نمواتها. أما الفوسفور الإضافي .. فيفضل أخذه فى الحسبان ضمن الأسمدة التى تضاف قبل الزراعة، ويكون ذلك بمعدل حوالى ١٠ كجم P_2O_5 مقابل كل حشة إضافية بعد الحشة الأولى.

٢- فى حالة الرى بالرش

تعطى السبانخ بعد الإنبات – فى حالة الرى بالرش – برنامجًا للتسميد مماثلاً لما سبق بيانه فى حالة الرى بالغمر، ولكن مع زيادة كميات الأسمدة الموصى بها بنسبة ٣٠٪ وتوزيعها على دفعات أسبوعية بداية من بعد الإنبات بأسبوعين.

الكرفس

يعتبر الكرفس من محاصيل الخضر المجهدة للتربة؛ نظرًا لأنه يستنفذ كميات كبيرة من العناصر الغذائية، ولا يضيف إليها سوى القليل من المادة العضوية.

التعرف على الحاجة للتسميد من تحليل النبات

يمكن التعرف على حاجة النباتات إلى التسميد من تحليل أعناق الأوراق التى اكتمل نموها حديثًا؛ حيث تكون مستويات النقص والكفاية من العناصر الغذائية الرئيسية على النحو التالى:

موعد أخذ العينات	العنصر	مستوى النقص	مستوى الكفاية
منتصف موسم النمو	نيتروجين نتراتى (جزء فى المليون)	٥٠٠	٧٠٠٠
	فوسفور (PO_4 بالجزء فى المليون)	٢٥٠٠	٣٠٠٠
	بوتاسيوم (٪)	٤	٧
قرب النضج	نيتروجين نتراتى (جزء فى المليون)	٤٠٠٠	٦٠٠٠
	فوسفور (PO_4 بالجزء فى المليون)	٢٠٠٠	٣٠٠٠
	بوتاسيوم (٪)	٣	٥

تستجيب النباتات للتسميد عندما يكون تركيز العناصر بين مستويات النقص والكفاية. وتدل التركيزات الأعلى من ذلك على أن النباتات ليست بحاجة إلى تسميد، بينما تدل التركيزات الأقل من ذلك على أن النباتات قد تعرضت بالفعل لنقص العناصر (Lorenz & Maynard، ١٩٨٠).

ويقدر محتوى العناصر المناسب للكرفس (على أساس الوزن الجاف) بعد نحو ستة أسابيع من الشتل، وعند اكتمال النمو للحصاد، كما يلي (عن Rubatzky وآخرين ١٩٩٩):

العنصر	بعد الشتل بستة أسابيع	عند أكتمال النمو للحصاد
النيتروجين (٪)	١,٥ -١,٧	١,٥ -١,٧
الفوسفور (٪)	٠,٣ - ٠,٦	٠,٣ - ٠,٦
البوتاسيوم (٪)	٦,٠ -٨,٠	٥,٠ -٧,٠
الكالسيوم (٪)	١,٣ -٢,٠	١,٣ -٢,٠
المغنيسيوم (٪)	٠,٣ -٠,٦	٠,٣ -٠,٦
الحديد (جزء فى المليون)	٢٠ -٣٠	٢٠ -٣٠
المنجنيز (جزء فى المليون)	٥ -١٠	٥ -١٠
الزنك (جزء فى المليون)	٢٠ -٤٠	٢٠ -٤٠
البورون (جزء فى المليون)	١٥ -٢٥	٢٠ -٤٠
النحاس (جزء فى المليون)	٤ -٦	١ -٣

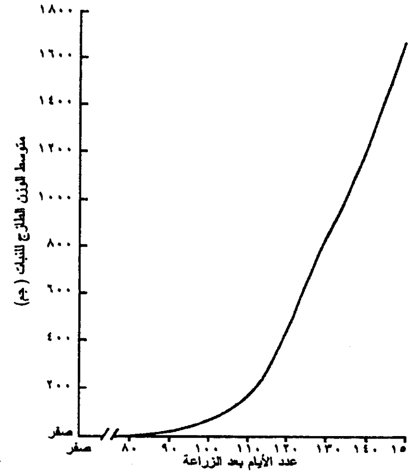
الاحتياجات السمادية

قدرت الاحتياجات السمادية للكرفس بين ٥٠ و٢٢٠ كجم نيتروجينًا، و٦٠ و١٥٠ كجم P_2O_5، و٥٠ و٢٥٠ كجم K_2O للفدان فى مختلف أنواع الأراضى.

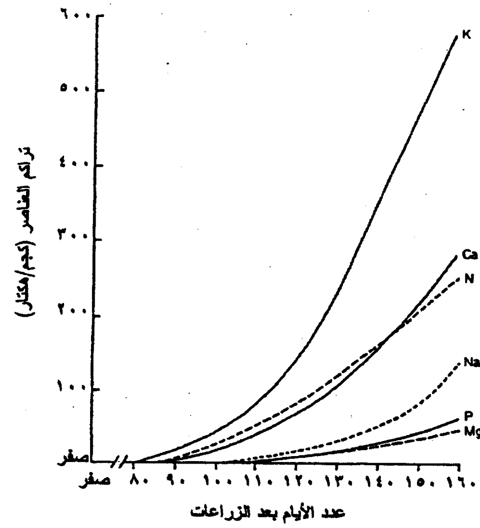
تمتص نباتات الكرفس نحو ١٠٠ كجم من النيتروجين، و ٥٠ كجم من الفوسفور، و٢١٥ كجم من البوتاسيوم/ فدان. وتصل معظم هذه الكميات إلى النموات الخضرية التى تزال نهائيًا من الحقل، ولا تحصل الجذور إلا على نحو ١٢ كجم، و٧ كجم، و٢٧ كجم/فدان من العناصر الثلاثة، على التوالى. ويكون معظم الامتصاص خلال الأسابيع الأربعة الأخيرة السابقة للحصاد.

وقد قدرت نسبة العناصر التى امتصتها نباتات الكرفس (فى الأجزاء النباتية التى تم حصادها) من تلك التى سمدت بها النباتات بنحو ٤٩,٣٪ من النيتروجين، و٤٧,٠٪ من الفوسفور، و٤٩,٥٪ من البوتاسيوم، وكان محصول الكرفس ٤٥,١ طنًّا للهكتار (١٨,٩ طنًّا للفدان)، بينما كانت ٤٥,٣٪ من المادة الجافة المنتجة فى الجزء الاقتصادى من المحصول.

يبلغ الإنتاج الكلى من النمو النباتى الطازج للكرفس حوالى ١٥٠ طنًّا للهكتار (أو حوالى ٦٣ طنًّا للفدان)، ولذا.. فهو يعد واحدًا من أكثر الخضر احتياجًا للتسميد، هذا.. إلاّ أن النمو يبدأ بطيئًا للغاية ويكون ضعيفًا جدًّا خلال الشهر الأول بعد الشتل، ثم يزداد معدل النمو قليلاً حتى حوالى منتصف الشهر الثالث بعد الشتل، وبعد ذلك يزداد معدل النمو بدرجة كبيرة جدًّا خلال الشهر الأخير من النمو (شكل ٩-٥). ولذا.. فإن تسميد الكرفس يجب أن يتناسب مع معدل النمو النباتى علمًا بأن معدل تراكم مختلف العناصر يزداد فى النبات بشدة خلال الأسابيع الخمسة أو الستة الأخيرة التى تسبق الحصاد مباشرة (شكل ٩-٦) (عن Rubatzky وآخرين ١٩٩٩).



شكل (٩-٥): منحنى الوزن الطازج (المتراكم) لنباتات الكرفس مع عدد الأيام بعد الزراعة.



شكل (٩-٦): منحنى الكميات الممتصة المتراكمة من مختلف العناصر بواسطة نباتات الكرفس مع عدد الأيام بعد الزراعة.

وعلى الرغم من احتياج الكرفس لكميات كبيرة من العناصر لإكمال نموه فإن النبات يعد من أقل محاصيل الخضر استفادة من الأسمدة المضافة — وخاصة النيتروجين — لعدة أسباب، منها: البطء الشديد للنمو النباتى خلال النصف الأول من حياة النبات، وكثرة حاجة الكرفس للرى وما يعنيه ذلك من زيادة فقد بعض العناصر السمادية بالرشح. ومن بين الأسباب التى تحفز منتجى الكرفس على زيادة معدلات تسميده سطحية نموه الجذرى؛ مما يجعل النبات غير قادر على الاستفادة من العناصر التى قد تتوفر تحت الطبقة السطحية من التربة.

ويستجيب الكرفس للتسميد العضوى والآزوتى بصورة جيدة. ويعد الكرفس من المحاصيل ذات الاحتياجات العالية من عنصرى: البورون، والمغنيسيوم، وتظهر أعراض

نقصهما بوضوح. هذا .. إلا أن المحصول النسبى للكرفس انخفض بنسبة ٣,٢٪ مع كل زيادة فى المحلول الأرضى مقدارها ملليجرام واحد من البورون/ لتر عن ٩,٨ ملليجرام /لتر. كذلك أدت زيادة التركيز عن ١٠ ملليجرام/ لتر إلى مرارة طعم الرؤوس وعدم صلاحيتها للتسويق (Francois ١٩٩٨).

وقد ذكر عن الكرفس (Thompson & Kelly ١٩٥٧) أنه استجاب لإضافة ملح الطعام العادى بمعدل حوالى ٢٥٠– ٥٠٠ كجم للفدان فى أراضى المك Muck (أراضٍ عضوية) بولاية ميتشيجان الأمريكية.

برنامج التسميد

تسمد حقول الكرفس فى الأراضى السوداء بنحو ٢٠– ٣٠م³ من السماد العضوى القديم المتحلل للفدان، تضاف أثناء إعداد الأرض للزراعة، ويضاف معها حوالى ١٠٠ كجم من سماد سلفات النشادر (حوالى ١٠ كجم N)، و٣٠٠ كجم من سوبر فوسفات الكالسيوم العادى (حوالى ٤٥ كجم P_2O_5)، و٥٠ كجم سلفات بوتاسيوم (حوالى ٢٥ كجم K_2O).

ويكون تسميد الكرفس بالنيتروجين "تكبيشًا" — بعد الشتل — بكميات صغيرة متتالية من العنصر، فيضاف حوالى ١٨– ٣٥ كجم N للفدان بعد حوالى ٤ أسابيع من الشتل، ثم حوالى ١٣– ١٥ كجم N فى كل مرة تسميد بعد ذلك حتى إكمال إضافة حوالى ١٠٠ كجم N للفدان. ويراعى عدم زيادة كميات النيتروجين المضافة فى كل مرة تسميد عن تلك الحدود إذا إن كثرة توفر النيتروجين فى اى مرحلة من النمو قد تؤدى إلى تشقق أعناق الأوراق وتجوفها.

كذلك يضاف البوتاسيوم — بعد الشتل — بمعدل حوالى ٧٥ كجم K_2O للفدان. (حوالى ١٥٠ كجم سماد سلفات بوتاسيوم)، وتكون إضافته بنسبة ٧٥٪ من معدلات إضافة النيتروجين، وفى المواعيد ذاتها التى يسمد فيها بالنيتروجين.

أما الفوسفور .. فيكتفى منه بالتسميد السابق للزراعة.

وأما فى الأراضى الرملية.. فإن كميات جميع أنواع الأسمدة المستعملة تجب زيادتها بنسبة ٢٠٪، مع توزيع إضافتها حسب البرنامج الموصى به فى الأراضى السوداء، ولكن مع بدء برنامج التسميد فى الحقل الدائم فى الأسبوع الثانى بعد الشتل، واستمراره بمعدل ٢- ٣ مرات أسبوعيًا حتى الأسبوع السابق للحصاد.

وتسمد النباتات بالعناصر الهامة الأخرى، كما يلى:

١- الكالسيوم:

ترش النباتات ابتداء من الأسبوع الخامس، ثم أسبوعيًّا بعد ذلك بمحلول من نترات الكالسيوم، أو كلوريد الكالسيوم بتركيز ٠,٠٥- ٠,٢٥ مولار، بمعدل ٦٠٠ لتر للفدان مع توجيه محلول الرش نحو قلب النبات مباشرة. هذا.. ويؤدى نقص الكالسيوم إلى إصابة النباتات بمرض فسيولوجى، يسمى القلب الأسود.

٢- المغنيسيوم:

ترش النباتات بكبريتات المغنيسيوم بمعدل ٦,٢٥ كجم فى ١٠٠ لتر ماء للفدان، ويكرر الرش كل ٢-٤ أسابيع كلما دعت الضرورة لذلك (Yamaguchi وآخرون ١٩٦٠).

٣- البورون:

تسمد النباتات بالبوراكس عن طريق التربة، إما فى صورة جافة بمعدل ١٠- ١٢ كجم للفدان، وإما مذابًا فى الماء بمعدل ٥ كجم للفدان، مع إضافة المحلول السمادى فى الحالة الأخيرة بالقرب من قاعدة النبات.

ويفضل دائمًا رش النباتات بأسمدة العناصر الدقيقة بمعدل ٣ مرات خلال موسم النمو، أو إضافتها بالمعدل ذاته مع مياه الرى بالرش أو بالتنقيط، على أن تكون إضافتها — فى هذه الحالة — فى الصورة المخلبية.

الفصل العاشر

تسميد الخضر الكرنبية

(الكرنب – القنبيط – الفجل)

الكرنب

يعتبر الكرنب من الخضر المجهدة للتربة لأنه يمتص كميات كبيرة من العناصر الغذائية، خاصة من الآزوت والبوتاسيوم. كما أنه لا يضيف كثيرًا من المادة العضوية للتربة؛ نظرًا لأن الجزء الأكبر من المادة العضوية المصنعة تشكل المحصول الذى يتم حصاده.

التعرف على الحاجة للتسميد من تحليل النبات

يفيد تحليل العرق الوسطى للأوراق الخارجية المغلّفة للرأس عند بداية تكوين الرؤوس فى تحديد مدى حاجة النبات للأسمدة، حيث تكون مستويات العناصر الأولية فى هذه المرحلة من النمو كما يلى — على التوالى — بالنسبة لمستوى النقص ، والكفاية: النيتروجين (NO_3) ٥٠٠٠، و٩٠٠٠ جزء فى المليون، والفوسفور (PO_4) ١٥٠٠، و٢٥٠٠ جزء فى المليون، والبوتاسيوم ٢٪، و٤٪.

التعرف على الحاجة للتسميد من أعراض نقص العناصر

إن من أبرز أعراض نقص العناصر فى الكرنب، ما يلى:

النيتروجين

يظهر اصفرار متجانس يشمل كل نصل الورقة، يبدأ ظهوره فى الأوراق السفلى، وتزداد شدته بزيادة شدة نقص العنصر.

الفوسفور

يصاحب نقص الفوسفور ظهور لون أحمر ضارب إلى البنفسجى على العروق بالسطح السفلى للأوراق السفلى بالنبات.

البوتاسيوم

يؤدى نقص البوتاسيوم إلى اكتساب حواف الأوراق لونًا برونزيًا، ويتقدم هذا التلون نحو مركز الورقة تدريجيًا فى الوقت الذى تتحول فيه الحواف إلى اللون البنى، ويعقب ذلك جفاف الحواف وظهور بقع بنية فى مركز الورقة.

المغنيسيوم

تظهر المراحل المبكرة لنقص المغنيسيوم فى الكرنب على صورة اصفرار، وتبرقش، وتجعد بالأوراق السفلى للنبات، ومع استمرار نقص العنصر تزداد شدة التبرقش، ثم يتحول لون المساحات الصفراء إلى اللون الأبيض، أو البرونزى، أو الأصفر الشاحب جدًا، أو البنى، وخاصة عند حواف الورقة وفى منتصفها، وغالبًا ما تتحلل هذه المساحات المتغيرة اللون وتسقط.

الكبريت

بدأت أعراض نقص الكبريت فى الظهور على نباتات الكيل (وهو من نفس النوع النباتى للكرنب) بعد أسبوع واحد من حرمانها من الكبريت فى المزارع المائية، وكانت الأعراض هى اصفرار الأوراق، وبطء النمو بشدة، مع زيادة فى محتوى النموات الخضرية من المادة الجافة. وقد سبق ظهور تلك الأعراض نقص كبير فى محتوى النموات الخضرية والجذور من الكبريتات والثيول thiol، وكان لنقص الكبريت تأثيرًا سلبيًا حاسمًا على امتصاص النترات وتمثيلها فى النبات. وصاحب نقص الكبريت تراكمًا للنترات والأحماض الأمينية الحرة، مع فقد فى البروتينات الذائبة، ويبدو أن عدم توفر الأحماض الأمينية التى تحتوى على الكبريت — آنذاك — كان هو العامل المحدد لتمثيل البروتين. وقد كانت نسبة

الأحماض الأمينية إلى الثيول دليلاً حسّاسًا لتقييم حالة الكبريت فى النسيج النباتى (Stuiver وآخرون ١٩٩٧).

البورون

من أبرز أعراض نقص البورون فى الكرنب ظهور مناطق مائية على ساق النبات عند قاعدة الرأس، وعادة ما تجف هذه المساحات وتصبح فارغة.

الموليبدنم

من أهم أعراض نقص الموليبدنم التفاف حواف الأوراق الصغيرة إلى أعلى مما يجعلها تأخذ شكلاً فنجانيًا، ويكون ذلك مصاحبًا ببعض الاصفرار فيما بين العروق. ومع نمو الورقة، يحدث التواء بالعرق الوسطى، وتنمو أنسجة النصل بطريقة غير منتظمة. وتظهر هذه الأعراض بوضوح فى القنبيط معطية الحالة الفسيولوجية المعروفة باسم طرف السوط Whiptail (Purvis & Carolous ١٩٦٤).

الاحتياجات السمادية

يستفيد الكرنب من الأسمدة العضوية لأنها تعمل على تيّسر الآزوت بصورة تدريجية خلال موسم النمو، وهو ما لا يتحقق فى حالة إضافة الأسمدة الآزوتية الكيميائية مرة واحدة قبل الزراعة. ويعتبر الكرنب من الخضر التى تستفيد من إضافة جزء من الأسمدة الكيميائية — نثرًا — قبل الزراعة لأن مجموعه الجذرى سطحى وكثيف.

وقد تراوحت تقديرات الأسمدة للفدان الواحد من الكرنب من ٣٥– ٩٠ كجم N، و٤٠– ١٠٠ كجم P_2O_5، و٢٠– ١٠٠ كجم K_2O فى مختلف أنواع الأراضى بالولايات المتحدة الأمريكية (Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

ويبلغ الحد الأقصى لاحتياجات الكرنب من النيتروجين حوالى ٤٠٠ كجم للهكتار (١٦٨ كجم للفدان). ومع زيادة كمية النيتروجين المضافة يقل تركيز المادة الجافة فى

الرؤوس. ويتراوح دليل حصاد النيتروجين Nitrogen Harvest Index (وهو عبارة عن كمية النيتروجين الممتصة من التربة التى تصل إلى الجزء الذى يسوق من النبات كنسبة مئوية من الكمية الكلية الممتصة من العنصر عند الحصاد) بين ٥٤٪، و٦٠٪، وهو لا يتأثر بمعدل التسميد الآزوتى أو طريقة إضافته. وقد قدر المستوى المثالى للتسميد بالنيتروجين فى إحدى الدراسات بحوالى ٣٣٠ كجم N للهكتار (١٣٩ كجم N للفدان)، وقدرت كمية النيتروجين المتخلفة فى بقايا النباتات فى التربة عند الحصاد فى هذه الحالة بحوالى ١١٣ كجم للهكتار (٤٧,٥ كجم N للفدان) (Everaarts & Booij ٢٠٠٠).

هذا إلاّ أنه لا يوصى بالتسميد الآزوتى عندما يزيد مستوى النيتروجين النتراتى فى التربة — فى موقع الزراعة — عن ٢٠- ٣٠ جزءًا فى المليون، وهو أمر يتعين أخذه فى الحسبان إذا ما كان المحصول السابق للكرنب فى الدورة محصول بقولى، أو أنه قد سُمِّدَ بكميات كبيرة من الأسمدة العضوية (عن Heckman وآخرين ٢٠٠٢).

وفى دراسة حول جدوى تقدير النترات فى موقع الزراعة لتحديد مدى الحاجة إلى التسميد الآزوتى وجد أن تركيزًا للنيتروجين النتراتى فى التربة قدره ٢٤ جزءًا فى المليون — أو أعلى من ذلك — أعطى محصولاً نسبيًا يزيد عن ٩٢٪ دونما تسميد إضافى. وكانت هذه الطريقة ناجحة — فى تحديد مدى الحاجة إلى مزيد من التسميد الآزوتى — بنسبة ٨٤٪. وعندما كانت مستويات النيتروجين النتراتى فى موقع الزراعة — قبل الزراعة — أقل من ٢٤ جزءًا فى المليون، أفاد التحليل فى تحديد كميات النيتروجين التى لزمت إضافتها أثناء النمو (Heckman وآخرون ٢٠٠٢).

برامج التسميد

أولاً: فى الأراضى الثقيلة

يوصى فى الأراضى الثقيلة بتسميد الكرنب بنحو ٢٠م^{3} من السماد البلدى للفدان، تضاف قبل الحرثة الأخيرة، مع استعمال الأسمدة الكيميائية بواقع ٨٠ كجم N، و٤٥